



THÈSE

En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse 3 - Paul Sabatier

Présentée et soutenue par
Julien SERRANO

Le 4 décembre 2019

**Origine des pegmatites du Cap de Creus: Approche intégrée de
terrain, pétrologie et géochimie**

Ecole doctorale : **SDU2E - Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de
l'Espace**

Spécialité : **Sciences de la Terre et des Planètes Solides**

Unité de recherche :
GET - Geosciences Environnement Toulouse

Thèse dirigée par
Marieke VAN-LICHTERVELDE et Michel DE SAINT BLANQUAT

Jury

Mme Fleurice PARAT, Rapporteure
M. Michel PICHAVANT, Rapporteur
Mme Maria Pura ALFONSO ABELLA, Rapporteure
M. Eric GLOAGUEN, Examineur
Mme Elena DRUGUET, Examinatrice
M. Olivier VANDERHAEGHE, Examineur
Mme Marieke VAN-LICHTERVELDE, Directrice de thèse
M. Michel DE SAINT BLANQUAT, Co-directeur de thèse

Résumé

Depuis plusieurs décennies, le débat sur l'origine de formation des pegmatites a conduit à l'élaboration de deux modèles, un modèle granitique et un modèle anatectique. Bien que ces modèles soient communément admis par la communauté scientifique, ils s'appuient majoritairement sur des critères géochimiques et / ou pétrologiques, occasionnellement sur des critères géochronologiques, et rarement sur des critères structuraux. Le but de ma thèse est d'étudier et de déterminer l'origine -granitique vs anatectique- des pegmatites du Cap de Creus (Espagne) en combinant travaux structuraux et géochimiques. Les analyses in-situ (microsonde, LA-ICPMS) combinées aux différentes mesures structurales et observations microstructurales, à la fois dans les pegmatites et leurs encaissants, m'ont permis non seulement d'établir une chronologie relative de mise en place des pegmatites, mais également de replacer l'origine des pegmatites du Cap de Creus dans un modèle géodynamique régional, mettant ainsi en évidence deux champs de pegmatites d'origines différentes.

Mots clés : Origine des pegmatites, tectonique, géochimie, granite, migmatite, Pyrénées Varisque, Cap de Creus.

English version

Since several decades, the debate on the origin of pegmatite formation has led to the development of two models, a granitic model and an anatectic model. Although these models are commonly accepted by the scientific community, they rely mainly on geochemical and / or petrological criteria, occasionally on geochronological data, and rarely on structural criteria. The aim of my thesis is to study and to determine the origin -granitic vs anatectic- of the Cap de Creus pegmatites (Spain) by combining structural and geochemical studies. In-situ analyses (microprobe, LA-ICPMS) combined with different structural works and microstructural observations, both in pegmatites and their host rock, allowed me to establish a relative chronology of pegmatite emplacement, but also to replace the origin of the Cap de Creus pegmatites in a regional geodynamic model, thus highlighting two pegmatite fields of different origins.

Keywords: Origin of pegmatites, tectonic, geochemistry, granite, migmatite, Variscan Pyrenees, Cap de Creus.

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps mes deux directeurs de thèse, Marieke et Michel. Je vous remercie de votre confiance, votre patience et votre grande gentillesse. Même dans les moments difficiles vous avez été d'une grande pédagogie et d'une écoute sans pareil. Ce fut un véritable bonheur et une belle opportunité de travailler et d'apprendre à vos côtés sur un sujet complexe qu'est la géologie du Cap de Creus. Merci à toi Marieke car malgré la distance durant la première moitié de ma thèse, tu as toujours été disponible depuis le Sénégal. Merci à toi Michel de ton infini patience pour nos contacts parfois sporadiques. J'ai énormément appris à vos côtés durant ces trois années de thèse, merci énormément.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe ANR, Michel, Charles, Eric, Arnaud et tous les autres. La diversité de vos domaines de compétences et votre passion des pegmatites m'a énormément aidé durant ma thèse. Ce fut un véritable bonheur et une expérience très enrichissante de travailler avec vous.

J'en profite pour remercier les nombreux géologues qui m'ont épaulé durant ces trois années. Merci à toi Elena, ton expérience et ton immense connaissance de la géologie du Cap de Creus m'a beaucoup aidé tout au long de ma thèse. Merci à toi Olivier de m'avoir accordé de ton temps et de m'avoir accompagné sur le terrain, ce fut un grand plaisir.

Je tiens également à remercier les nombreux techniciens avec qui j'ai collaboré, Arnaud, Philippe, Sophie, Thierry, Olivier, Fabienne, Jérôme... Sans votre grande compétence et votre expérience il n'y aurait clairement pas de sciences, ces résultats sont également les vôtres, merci infiniment.

Enfin je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin durant ces trois années. Merci aux géologues, Julien, Jérôme, Stephano, Philippe, Michel, Guillaume, Mary-Alix... Merci également aux amis thésards, Clément, Mathilde, Sofia, Ines, Gaétan...

Enfin je remercie mes amis et ma famille pour leur soutien, et le dernier merci sera pour toi Lucile, toi qui à tout partagé de ces trois années et qui m'a aidé à tenir le coup, Merci !

Table des matières

Résumé.....	1
Remerciements.....	3
Table des matières	5
Introduction.....	9
I. Chapitre I : Introductions générales sur les pegmatites	13
<i>Partie 1. Etat de l'art sur la formation des pegmatites</i>	<i>15</i>
1. Qu'est-ce qu'une pegmatite, définition	15
2. Conditions de cristallisation des pegmatites	17
3. Zonation régionale et classification	18
4. Mécanismes de mise en place	20
5. Les différents modèles génétiques.....	21
<i>Partie 2. Origine(s) des pegmatites</i>	<i>27</i>
1. Le modèle granitique	27
2. Le modèle anatectique	29
II. Chapitre II : Le Cap de Creus	32
<i>Partie 1. Géologie du Cap de Creus : contexte générale, structures, métamorphisme</i>	<i>34</i>
1. Introduction	34
2. Contexte géologique.....	35
<i>Partie 2. Les pegmatites du Cap de Creus : Pétrologie, classification, zonation, datation, état de l'art.....</i>	<i>39</i>
1. Classification des pegmatites du Cap de Creus.....	39
2. Géochimie des pegmatites du Cap de Creus.....	43
3. Températures, pressions et géochronologie des pegmatites du Cap de Creus	44
III. Chapitre III : Méthodologies.....	46
<i>Partie 1. Méthodologie de terrain.....</i>	<i>48</i>
<i>Partie 2. Méthodologie des observations microscopiques.....</i>	<i>53</i>
1. Observations optiques et électroniques (MEB et Cathodoluminescence)	53
2. EBSD : Méthode et limites.....	54
<i>Partie 3. Méthodologie des analyses géochimiques</i>	<i>58</i>
1. Analyses Roche Totale.....	58
2. Analyses in-situ	58
<i>Partie 4. Observations et critiques sur les différentes analyses effectuées.....</i>	<i>60</i>
IV. Chapitre IV : Les pegmatites du Cap de Creus : approche structurale et microstructurale	64
<i>Partie 1. Introduction de l'article : données structurales, microstructurales & EBSD</i>	<i>66</i>

Partie 2. Article : « Pegmatite emplacement and regional deformation : the Cap de Creus pegmatite fields ».....	69
V. Chapitre V : Données géochimiques des pegmatites du Cap de Creus	129
Partie 1. Pétrologie des pegmatites du Cap de Creus.....	131
1. Introduction	131
2. Tendances générales	132
3. Type I-a.....	136
4. Type I-b.....	138
5. Type II.....	141
6. Type III.....	141
7. Type IV	143
8. Vers une nouvelle classification des pegmatites du CdC	145
Partie 2. Géochimie des pegmatites.....	145
1. Introduction	145
2. Muscovite.....	146
3. Grenat.....	158
4. Tourmaline.....	163
5. Groupe de la colombite (CGM).....	167
Partie 3. Processus primaires vs secondaires de cristallisation.....	170
1. Introduction	170
2. Les processus secondaires de cristallisation	171
3. Origine et nature des processus secondaires de cristallisation	177
4. Effets des processus secondaires : exemple des CGM.....	188
VI. Chapitre VI : Pérogéochimie des roches encaissantes : Minéralogie, accessoires, chimie en majeurs et traces	193
Partie 1. Introduction	195
Partie 2. Pétrologie	196
1. Micaschistes et migmatites.....	196
2. Diorites / Granodiorites.....	199
3. Leucogranite	200
Partie 3. Géochimie.....	201
1. Données Roche Totale.....	201
2. Analyses in-situ	205
VII. Synthèse : Modèle génétique des pegmatites du Cap de Creus	217
Partie 1. Modèle structural de mise en place	219
1. Chronologie relative de mise en place des pegmatites au cours de l'évènement de déformation D2	219
2. Conséquences sur l'origine des pegmatites du Cap de Creus	221
Partie 2. Modèle géodynamique global de mise en place des pegmatites au Cap de Creus	222
1. Cristallisation magmatique primaire versus magmatique secondaire des pegmatites	222
2. Origines des pegmatites.....	223
3. Conséquences sur l'origine des minéralisations	227
VIII. Conclusions générales et perspectives.....	231
IX. Bibliographie.....	233
X. Liste des figures	243

XI.	Liste des tableaux.....	253
XII.	Annexes.....	255
1.	Bases de données	256
a.	BDD de terrain	256
b.	Points GPS des roches encaissantes	262
c.	BDD minéralogique.....	263
2.	Tableaux d'analyses	265
a.	Muscovites des pegmatites	265
b.	Biotites des pegmatites	284
c.	Grenats des pegmatites.....	286
d.	Tourmalines des pegmatites	291
e.	CGM des pegmatites.....	294
f.	Apatites des pegmatites	296
3.	Planches photos	300

Introduction

Très peu connues du grand public, les pegmatites sont pourtant des roches exploitées depuis toujours, notamment pour certains métaux comme l'étain (sous forme de cassitérite), ou encore pour l'exploitation de kaolin (sous forme de feldspath) servant entre autre pour la fabrication de céramiques, dont la porcelaine. Depuis quelques décennies, l'intérêt pour ces roches a augmenté, notamment du fait de leur richesse en métaux dits « stratégiques ». En effet, les pegmatites peuvent être extrêmement enrichies en éléments tels que le lithium (Li), le tantale (Ta), ou les terres rares, éléments indispensables utilisés dans les nouvelles technologies (batteries, panneaux solaires, éoliennes, électroniques...).

D'un point de vu de la recherche fondamentale, les pegmatites ont toujours intrigué les géologues. Les caractéristiques atypiques telles que les tailles de minéraux extrêmement variable et pouvant atteindre plusieurs mètres, ou encore les minéralisations exceptionnelles présentes ont toujours fasciné les pétrologues et minéralogistes des pegmatites.

Un des grands débats concernant ces roches est leur origine (i.e. source). Deux modèles de formation des pegmatites sont communément admis par la communauté scientifique : i) le *modèle dit granitique*, où les pegmatites sont issues des derniers liquides magmatiques d'un pluton granitique en fin de cristallisation, et ii) le *modèle anatectique*, où la fusion partielle de métasédiments préalablement enrichis produit des liquides pouvant donner des pegmatites. La quasi-totalité des caractéristiques établies pour ces deux modèles sont fondées sur des arguments pétrologiques et géochimiques. Très peu d'auteurs se sont intéressés aux deux modèles d'un point de vue structural. Et surtout, aucune étude n'a tenté de faire le lien entre structure et géochimie afin d'expliquer l'origine d'un champ de pegmatites. C'est dans ce cadre que s'inscrit ma thèse.

Pour ce faire, ma thèse a été orientée sur un site géologique mondialement connu, le champ de pegmatites du Cap de Creus, en Espagne. Cette zone d'étude a été choisie car elle présente plusieurs avantages : i) l'origine des pegmatites y est encore grandement débattue, notamment du fait que cette zone ne présente pas de source potentielle granitique à l'affleurement, ii) de nombreuses études structurales y ont permis de contraindre relativement bien l'histoire des déformations régionales, et iii) le Cap de Creus offre une qualité d'affleurement exceptionnelle permettant une étude multi-échelle.

L'objectif principal de ma thèse est la question de l'origine -granitique vs anatectique- des pegmatites du Cap de Creus. Afin de répondre à cette question, une nouvelle approche a été adoptée en combinant des travaux structuraux et microstructuraux avec des études géochimiques approfondies, aussi bien sur les pegmatites que sur leur roche encaissante. Pour ce faire, plusieurs étapes ont été nécessaires :

1\ Une étude de terrain (~3 mois en cumulé) afin d'établir une base de donnée décrivant les principales caractéristiques structurales, minéralogiques et pétrologiques d'une grande partie des pegmatites du Cap de Creus (~1/3), et de leurs roches encaissantes.

2\ L'établissement d'une chronologie relative de mise en place des pegmatites par le biais d'analyses structurales, microstructurales et texturales d'objets représentatifs de la zone d'étude, afin de replacer l'histoire des pegmatites (e.g. injection, solidification...) dans le contexte géologique régional.

3\ L'identification des différents processus géochimiques (magmatiques, hydrothermaux, métamorphiques) ayant affecté les différentes générations de pegmatites et les roches encaissantes.

Ces étapes nous ont permis d'établir un modèle géologique global de la région qui associe l'origine et la formation des pegmatites, et l'histoire tectono-métamorphique régionale.

Afin de répondre à ces différents objectifs scientifiques, cette thèse s'organise de la manière suivante :

- Un 1^{er} Chapitre où je présente un état de l'art sur les connaissances actuelles des pegmatites et les deux grands modèles de formations des pegmatites proposés actuellement,
- Un 2^{ème} Chapitre présentant un état de l'art sur la zone d'étude, le Cap de Creus, et son champ de pegmatites,
- Un 3^{ème} Chapitre où je présente la méthodologie adoptée au cours des différentes études structurales, microstructurales, pétrologiques et géochimiques,
- Un 4^{ème} Chapitre consacré aux études structurales et microstructurales. Ces travaux, ayant fait l'objet d'une publication scientifique (soumise à Journal of Structural Geology), ont permis d'établir un modèle structural de mise en place des pegmatites au Cap de Creus,
- Un 5^{ème} Chapitre consacré aux travaux pétrologiques, minéralogiques et géochimiques réalisés, notamment pour identifier les différents processus primaires (magmatisme), mais également d'autres processus considérés comme secondaires (hydrothermalisme, métamorphisme).
- Un 6^{ème} Chapitre consacré à la pétrologie et la géochimie des roches encaissantes,

- Et un 7^{ème} Chapitre où je fais la synthèse et je discute les différents résultats obtenus au cours de cette thèse, et où je propose un modèle géologique régional de formation des pegmatites du Cap de Creus.

I. Chapitre I : Introductions générales sur les pegmatites

Partie 1. Etat de l'art sur la formation des pegmatites

1. Qu'est-ce qu'une pegmatite, définition

Une des définitions les plus abouti est donnée par London, (2018) et dit « Les pegmatites sont des roches essentiellement d'origine magmatiques, majoritairement de composition granitique (quartzo-feldspathique) et considérées comme les plus différenciées sur Terre. Plusieurs caractéristiques les distinguent des autres roches magmatiques telles i) qu'une taille de minéraux extrêmement variable (certains peuvent atteindre le mètre) et qui augmente progressivement des bordures au centre (Fig. I-1), ou ii) une forte abondance de textures typiques telles que des textures graphiques (intercroissance quartz-feldspath) ou encore squelettiques attestant d'une cristallisation d'orientation préférentielle, ou iii) une importante zonation spatiale d'assemblages minéralogiques incluant les zones monocristallines. »



Fig. I-1 : Photo d'une tourmaline pluri-centimétriques (~5 cm) au sein d'une pegmatite. Cap de Creus, Espagne.

La frontière entre la nature ignée ou hydrothermale des pegmatites est un sujet débattu depuis de nombreuses années (Ramberg, 1952; Gresens, 1969; Roedder, 1981), et encore aujourd'hui certains processus à l'origine de la formation d'une pegmatite sont invoqués par des phénomènes hydrothermaux (cf. I.1.5. Les différents modèles génétiques). Les textures d'intercroissance minéralogiques sont fréquentes dans les pegmatites. Elles sont provoquées par la précipitation d'un minéral interstitiel au sein d'un minéral squelettique (incomplet, en forme de sablier) hôte. La texture la plus commune est la texture graphique. Rencontrer exclusivement dans les pegmatites, elles sont provoquées par l'intercroissance

du feldspath potassique et du quartz. D'ailleurs, le terme **pegmatite** vient du grec et fait référence à cette texture (London, 2008). Si des textures pegmatitiques peuvent caractériser certains types de roches (gabbros, syénites, komatiites, carbonatites), la majeure partie des pegmatites ont une composition granitique. Cela est dû à la nature même des magmas granitiques, très riche en silice, les rendant très visqueux. Cette forte viscosité empêche la diffusion ionique, indispensable à l'initiation de la cristallisation, permettant au magma de s'enrichir en élément incompatible et de rester liquide même en dessous de son liquidus. Au moment de la cristallisation, le magma est en sursaturation (d'éléments incompatibles et fluants : H_2O , B, F, Na), induisant des cinétiques de cristallisations très rapide et conduisant aux textures pegmatitiques. Au contraire, les magmas moins riches en silice (gabbroïques ou syénitiques) et donc de plus faible viscosité auront tendance à cristalliser à l'approche de la température de leur liquidus, formant préférentiellement des roches texturalement homogènes.

La structure interne des pegmatites a fait l'objet de plusieurs études dont la première, faite par Cameron *et al.*, (1949) à permis d'établir une terminologie et une description fine des zonations internes, encore utilisés aujourd'hui. Cette zonation interne s'appuie sur des critères texturaux, minéralogiques ou de taille de grains et a été revisitée par London, (2008, 2014, 2018). Elle se compose i) d'une zone de bordure (1 à 3 cm) au contact de l'encaissant et caractérisée par une texture granitique ii) d'une 1^{ère} unité intermédiaire avec une augmentation notable de la taille des grains (> centimètre) et l'apparition des textures squelettiques et graphiques, iii) d'une 2^{ème} unité intermédiaire à grand cristaux (jusqu'à plusieurs 10^{aines} de centimètres) majoritairement de feldspath potassique et de quartz, iv) d'un cœur monocristallin, quartzeux dans la plupart des cas et, v) d'une unité albitique tardive lié au remplacement de zones pegmatites originelles. Cependant, toutes les pegmatites ne sont pas zonées et certaines présentent des structures très homogènes ou bien litées. Elles se différencient des autres pegmatites par leur fabrique très homogène et isotrope, des minéraux de grandes tailles (plusieurs centimètres ou plus) et la présence de nombreuses textures squelettiques et graphiques. Les pegmatites non zonées regroupent les pegmatites « communes » (London, 2008), les pegmatites à céramiques (Glover *et al.*, 2012), les pegmatites granitiques (Goad and Cerny, 1981) et les pegmatoïdes (Vlasov, 1961; Druguet *et al.*, 1995).

Quelques estimations de la proportion modale des pegmatites ont été faites (Norton, 1966; London, 2008), malgré les difficultés causées par les caractéristiques texturales qui leur sont propres, (e.g. une grande taille minéralogique). Ces travaux ont été réalisées sur une partie des corps pegmatitiques, cependant de récentes études ont permis d'estimer les proportions modales sur l'ensemble d'une pegmatite (Cerny *et al.*, 2005; Stilling *et al.*, 2006; London *et*

al., 2012; Simmons *et al.*, 2016). Toutes ces recherches permettent d'estimer que la quasi-totalité des pegmatites appartiennent au système haplogranitique (Ab-Or-Qz), et qu'une vaste majorité ont des compositions de « pegmatites communes », avec de faibles proportions (< 5%) en micas, tourmaline, béryl, apatite et fluorite (London, 2008).

2. Conditions de cristallisation des pegmatites

Il est communément admis que les textures pegmatitiques ainsi que les zonations minéralogiques qu'elles présentent sont provoqués, au départ, par l'enrichissement en éléments fluants (H₂O, B, P, F, Li, Rb et Cs, cf. I.1.5 Les différents modèles génétiques) du liquide magmatique. Avant le début de la cristallisation, ces éléments jouent un rôle essentiel au sein d'un magma granitique hydraté, en abaissant de plusieurs centaines de degrés la température du solidus. Ce phénomène appelé « liquidus undercooling » (« phénomène de sur-refroidissement » en français) a été étudié par plusieurs auteurs (Manning, 1981; Pichavant, 1981; London *et al.*, 1993; Maneta *et al.*, 2015) dont London, (2018), qui a estimé pour un liquide hydraté de composition haplogranitique, une diminution de plus de 250 °C ± 50°C de la température du solidus. Ces estimations coïncident nettement avec les taux maximum de croissance du quartz et du feldspath (Fenn, 1977; Swanson, 1977), aux taux de pourcentage maximal de cristallisation (London et Morgan, 2017) et au délai très court existant entre le début de la cristallisation et le sur-refroidissement (Evensen, 2001; London and Morgan, 2017; Sirbescu *et al.*, 2017). Une fois le phénomène de sur-refroidissement atteint, la cristallisation débute et progresse rapidement des épontes jusqu'au centre, et est caractérisée par une cristallisation unidirectionnelle prédominante des minéraux (perpendiculaire au front de cristallisation) (London, 2008).

De plus, plusieurs auteurs (Dingwell *et al.*, 1996; Thomas and Webster, 2000) dont Thomas *et al.*, (2012) observent que le phénomène de « liquidus undercooling » réduit drastiquement la viscosité du liquide magmatique (viscosité comparable à l'huile d'olive). Ces auteurs confirment et argumentent le fait que la cristallisation doit nécessairement se faire le long d'un front de cristallisation, des bordures jusqu'au centre. Sans cela, les minéraux cristallisés ne pourraient être supportés par le liquide magmatique très peu dense, et des textures anisotropes en découleraient probablement.

Une des observations récurrentes est la présence d'aprites, mais également de zones tourmalinisées au contact pegmatite / roche encaissante. London, (1986) établi un modèle basé sur l'appauvrissement brutal en bore du magma, le « boron quench », pour expliquer

ce phénomène. Au cours des stades tardifs de cristallisation d'une pegmatite, la cristallisation de tourmaline provoque un appauvrissement du liquide pegmatitique entraînant une saturation en H₂O. Cet enrichissement va provoquer la démixtion d'une phase vapeur aqueuse, enrichi en bore (coefficient de partage du B entre vapeur et magma > 1) et qui va réagir avec l'encaissant pour former les zones tourmalinisées. Enfin, le liquide silicaté restant, très appauvri en bore voit sa température de solidus fortement augmentée, générant une cristallisation très rapide sous forme d'assemblage à grains fins (aprites).

3. Zonation régionale et classification

Par manque d'études structurales sur les champs de pegmatites anatectiques, dans cette partie seule la zonation régionale des champs de pegmatites clairement liés génétiquement à un pluton granitique est décrite. Les quelques études sur les zonations régionales de pegmatites anatectiques seront traitées ultérieurement (cf. I.2.2. Le modèle anatectique).

Dans la majeure partie des cas, les pegmatites intrudent des séries métamorphiques allant du faciès schiste vert au faciès amphibolite (~550°C – 700°C). Les zones d'occurrences sont décrites comme des « champs » (groupe de pegmatites liées génétiquement) où les pegmatites les moins évoluées / différenciées se situent proche de leur source (granite), tandis que les pegmatites les plus évoluées / différenciées sont les plus éloignées de leur source (Fig. I-2). Elles se mettent en place à des profondeurs comprises entre 200 et 300 MPa (Brisbin, 1986; Cerny, 1991b) – 6 à 9 kilomètres de profondeur – et leur nombre diminue fortement au-delà d'un kilomètre de la source (Fig. I-2b). Les pegmatites les moins évoluées, également appelées « pegmatites communes » (London, 2008), possèdent une composition essentiellement haplogranitique, avec de faibles quantités de micas, d'aluminosilicates et d'autres minéraux accessoires comme la tourmaline ou l'apatite. Elles sont distribuées de manière radiale le long du granite source et suivent généralement la direction de la fabrique principale (foliation, litage). Tandis que les pegmatites les plus évoluées montrent un fractionnement géochimique plus important (Cerny *et al.*, 1985) et l'apparition de minéraux exotiques (minéraux porteurs de Li, Sn ou Nb-Ta, phosphates rares) devient généralisée. Ces pegmatites, éloignées de leur source, tendent à se répartir le long de grandes structures régionales telles que le plan axial de plis régional, ou encore le long de failles ductiles régionales (zones de cisaillements). En règle générale les pegmatites s'injectent sous forme de filons planaires mais selon le type d'encaissant, leur forme peut sensiblement changer. Dans un encaissant relativement compétent (gneiss, amphibolite ou marbre) les filons seront relativement continus et tabulaires, alors que dans un encaissant

micaschisteux (faible compétence) les filons seront beaucoup plus discontinus et de forme irrégulière (London, 2008).

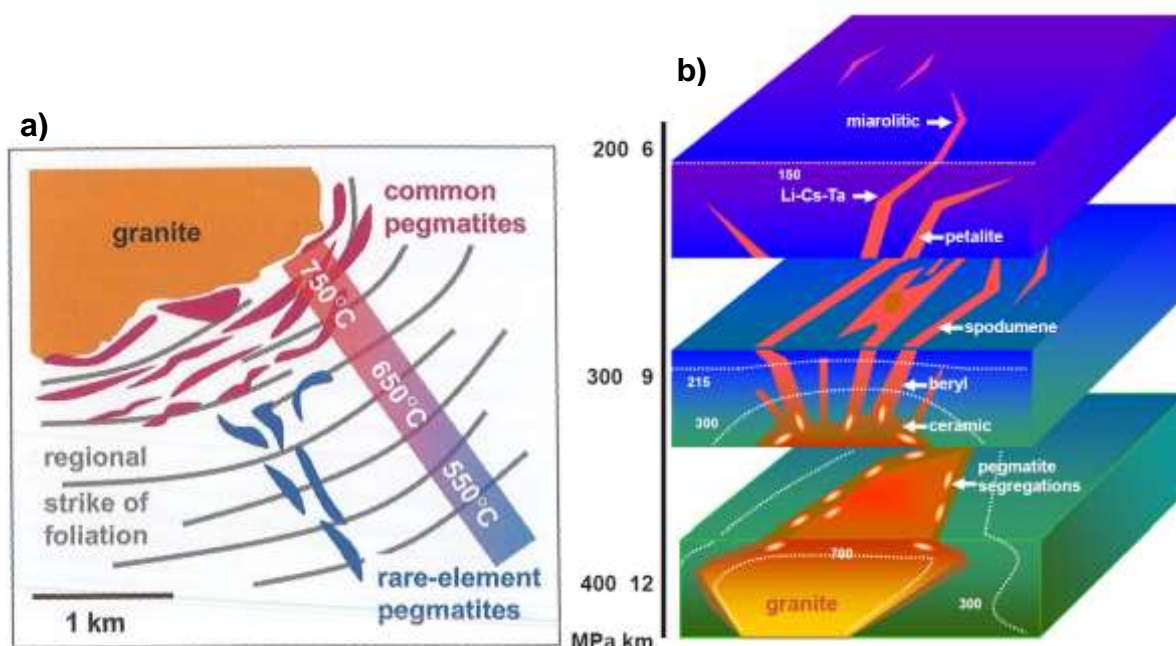


Fig. I-2 : a) Illustration schématique de la répartition spatiale des pegmatites depuis leur source granitique, en relation avec les structures principales et le métamorphisme régionale au sein des roches encaissantes. D'après London, 2008. b) Zonation régionale de la famille des pegmatites LCT (lithium césium tantale), des pegmatites les moins évoluées (pegmatites à céramique) proches de leur source, aux pegmatites les plus évoluées (pegmatites à pétalite-spodumène et pegmatites miarolitiques) et les plus éloignées de leur source. Les traits blancs en pointillé représentent les isothermes depuis la surface (d'après London, 2014). D'après London, 2018.

Un des premiers travaux sur le lien géochimique existant entre les différentes pegmatites a été fait par Trueman and Cerny, (1982). Ils ont montré que l'apparition séquentielle des minéraux rares avec l'augmentation de la distance depuis la source granitique était un marqueur essentiel du fractionnement géochimique des liquides pegmatitiques. Un peu plus tard, Cerny, (1991a) va plus loin en associant le fractionnement des liquides pegmatitiques à une source granitique. Il avance dans ces mêmes travaux que la zonation géochimique des pegmatites doit être initiée par un magma stratifié et zoné au sein de la chambre magmatique. Enfin, il propose un scénario où la mise en place des champs de pegmatites granitiques provient de l'extraction des liquides granitiques les plus différenciées, et ces derniers doivent être de moins en moins volumineux et de plus en plus fractionnés en s'éloignant de la source.

La classification des pegmatites granitiques la plus détaillée et utilisée à l'heure actuelle est la classification établie par Cerny and Ercit, (2005). Sur des critères dans un premier temps minéralogiques et de contexte géologique (lieu de formation), les pegmatites granitiques ont été classées en 5 grandes familles : abyssale, à muscovite, à muscovite-éléments rares, à éléments rares et miarolitiques. Dans un second temps et purement sur des critères

géochimiques (nature de la source), les pegmatites ont été classées en 3 sous familles avec : 1) les pegmatites LCT caractérisées principalement par un enrichissement du magma pegmatitique en lithium, césium et tantale, 2) les pegmatites NYF dominées par un enrichissement en niobium, yttrium et fluor, et 3) les pegmatites de composition intermédiaire LCT / NYF traduisant un mélange de plusieurs magmas pegmatitiques de sources bien distinctes. Les pegmatites LCT dérivent de magmas peralumineux et donc essentiellement de granites de type S (granites orogéniques d'anatexie crustale), tandis que les pegmatites NYF sont issues du fractionnement de magmas subalumineux à peralcalins (granites de type A et I mis en place dans des contextes variables), montrant ainsi une contribution magmatique plus profonde (croûte inférieure appauvrie, manteau).

Bien qu'aucun enrichissement significatif en lithium n'a été mis en évidence pour les pegmatites du Cap de Creus, l'omniprésence de minéraux peralumineux ainsi que l'enrichissement en niobium, césium et d'autres éléments tels que le bore, le phosphore ou encore le béryllium, a permis de classer ces pegmatites dans la sous famille des pegmatites LCT.

4. Mécanismes de mise en place

Brisbin, (1986) est un des premiers à avoir modélisé les mécanismes d'intrusion contrôlant les liquides pegmatitiques. Il a mis en évidence que la géométrie (forme, position, orientation) des filons de pegmatites est contrôlée par plusieurs facteurs comme la pression du magma, les conditions rhéologiques de la roche encaissante, la pression lithostatique et de multiples autres facteurs. Ces travaux ont mis en avant également l'importance des relations entre la géométrie des pegmatites et leur profondeur de formation. Cependant, ce modèle présente plusieurs lacunes, notamment le fait qu'il ne prend pas en compte les pegmatites les plus évoluées dont leurs propriétés physico-chimiques (très faible viscosité, forte concentration en éléments volatils) sont très différentes des pegmatites faiblement évoluées.

C'est par la suite Rubin, (1995) qui a modélisé l'initiation et le transport d'un liquide pegmatitique à travers un dyke et issu d'un pluton granitique source. Dans son modèle, il a mis en évidence plusieurs paramètres contrôlant la propagation du dyke : la température du liquide granitique et de la roche encaissante lors de l'injection du dyke, la viscosité et la pression du liquide granitique ainsi que le contraste de densité entre le liquide et la roche encaissante. Rubin a montré que la propagation d'un dyke pegmatitique était peu susceptible de se faire au-delà de l'auréole de contact (=thermique) créée lors de la mise en

place du pluton source. Egalement qu'une grande quantité de magma était nécessaire afin d'augmenter significativement la température des roches encaissantes et ainsi permettre l'extraction des liquides pegmatitiques.

En reprenant le modèle de Rubin, (Baker, 1998) a calculé qu'un pluton granitique de 1000 km³ (10x10x10 km²) était suffisant pour libérer assez de chaleur et permettre la mise en place de pegmatites sur plusieurs kilomètres depuis la source. Il a mis en évidence qu'aux stades précoces de la mise en place du pluton source, l'encaissant n'étant pas assez réchauffé (température initiale de 300°C), l'extraction des liquides reste très difficile, voire impossible. S'il y a extraction, les filons formés seront courts, de l'ordre du kilomètre. En revanche, si l'extraction des liquides pegmatitiques se fait plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'années après la mise en place du pluton, ces derniers peuvent se propager jusqu'à 10 kilomètres depuis la source. Egalement, grâce à son modèle Baker souligne que les pegmatites proches de leur source doivent être plus précoces et géochimiquement moins évoluées que les pegmatites plus distales. Enfin, on ne devrait pas trouver de pegmatites autour de petits plutons (< 5 km³), ce qui concorde globalement avec les observations de terrains (pour des champs de pegmatites associés à un granite parent).

Dans ce dernier modèle de mécanisme d'intrusions pegmatitiques, quelques détails peuvent être apportés, notamment sur le fait que les recoupements de filons pegmatitiques et aplitiques dans les zones proches de la source (pluton granitique) suggèrent que la mise en place des pegmatites se fait par pulses discontinus (Duke *et al.*, 1988). Egalement, les liquides pegmatitiques ne contiennent pas de phénocristaux entraînés depuis leur source. En effet, tout indique que les pegmatites s'injectent à l'état 100 % liquide (silicaté), ce qui implique une extraction très efficace du liquide pegmatitique depuis leur granite source dont le degré de cristallisation est élevé (Bachmann and Bergantz, 2004).

5. Les différents modèles génétiques

Les pegmatites sont des roches très anecdotiques et un des premiers paradoxes majeurs observés est qu'elles sont associées généralement avec un pluton granitique, elles possèdent une composition granitique, mais elles présentent des textures et zonations minéralogiques complètement différentes des granites. Les premiers travaux, essentiellement basés sur les observations de terrains, sur l'origine et la formation des pegmatites ont été fait par Cameron *et al.*, (1949). Ils ont permis d'établir le postula qu'une pegmatite cristallise de manière séquentielle des bordures jusqu'au centre. Ce n'est qu'un peu plus tard, notamment avec l'avancée dans le domaine expérimentale, que les

recherches ont permis de mettre en évidence la relative importance des phénomènes magmatiques *versus* hydrothermaux lors de la formation des pegmatites.

a. Le modèle de Jahns and Burnham (1969)

Le modèle génétique le plus avancée, le complet et communément admis par la communauté scientifique est le modèle initié par Jahns et Tuttle en 1963, développé par Jahns et Burnham en 1969, et revisité par de nombreux auteurs (Jahns, 1982; Burnham and Nekvasil, 1986; London, 1986, 1990, 1999, 2008, 2009; Thomas *et al.*, 2000, 2012) (Fig. I-3). Les premières expériences initiées par Jahns and Tuttle, (1963) ont clairement permis d'établir le lien génétique entre les derniers stades des magmas granitiques et les pegmatites. Egalement, ils ont montré une grande affinité géochimique entre les pegmatites et les granites hydratées, mettant en avant l'importance de l'eau pour la formation des pegmatites. La poursuite des travaux expérimentaux ont amené Jahns and Burnham, (1969) à élaborer un modèle génétique mettant en avant l'importance et le rôle de l'eau tout au long de la cristallisation, en système fermé, d'une pegmatite. En effet, les textures caractéristiques (graphiques, squelettiques, aplites et zones de remplacements), la composition granitique des pegmatites ainsi que les zonations minéralogiques et leur taille variées ne peuvent s'expliquer sans la participation d'un fluide (H₂O). Dans les premiers stades de cristallisation d'une pegmatite, l'eau dissoute dans le magma permet une diminution drastique de la viscosité, une forte diminution de la température du solidus et du liquidus ainsi qu'une forte augmentation des cinétiques de cristallisation. Dans les stades ultimes de consolidation, il y a exsolution d'une phase vapeur liquide qui interagit avec les minéraux déjà formé provoquant une croissance accélérée et l'apparition des textures typiques (aplites, exsolution du quartz dans les feldspaths potassiques). Ce modèle pose toute de même quelques questions : i) Quel est le rôle des fluants (F, B, Li, P) lors du transport et de la cristallisation ? ii) Qu'en est-il des pegmatites d'origine anatectiques ?

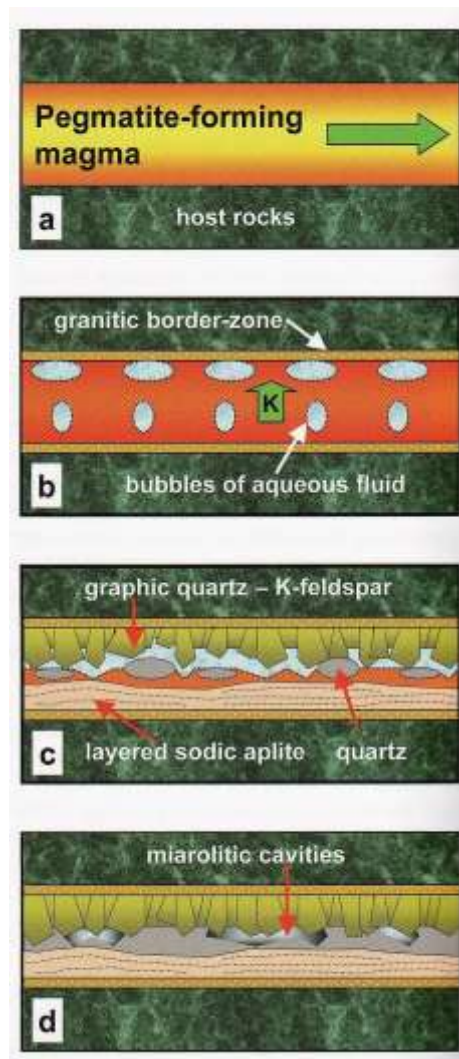


Fig. I-3 : Représentation schématique du modèle génétique de Jahns & Burnham (1969) basé sur les concepts de Jahns et Tuttle (1963). De a) à d) Injection du liquide pegmatitique jusqu'aux derniers stades de cristallisation (pour plus d'explications voir London, 2008, p196).

b. Le modèle de London (2008)

Au contraire du modèle de Jahns et Burnham (1986), le modèle développé par London (2008) met l'accent sur le rôle essentiel des volatils et plus particulièrement des fluants (Li, B, P et F) dans des magmas pegmatitiques sous-saturés en H_2O . Les éléments fluants i) augmentent la solubilité de l'eau jusqu'aux derniers stades de cristallisation, permettant un enrichissement en éléments rares au cœur des pegmatites, ii) réduisent la viscosité du liquide pegmatitique, iii) diminuent la température du solidus, et iv) empêchent une saturation de la phase vapeur liquide. La diminution drastique de la viscosité permet non seulement une grande mobilité du magma mais également une augmentation de la diffusion des éléments. Egalement, l'inhibition de la phase vapeur liquide jusqu'aux derniers stades de cristallisation du magma engendre une diminution radicale du taux de nucléation, rendant toujours liquide le magma bien en dessous de son solidus (cf. I.1.2 Conditions de

cristallisation), conduisant à la formation des textures pegmatitiques. Cette forte diminution du taux de nucléation conduit également à une réduction du nombre de minéraux (= diminution des compétences cristallines), leur permettant d'acquérir des tailles gigantesques (jusqu'à plusieurs mètres).

Le modèle de London introduit également deux nouveaux concepts (London, 1999, 2008, 2009) dont le premier est 1) la « **boundary-layer liquid** ». Ce processus est créé par l'accumulation d'éléments incompatibles et d'éléments fluants qui se concentrent le long du front de cristallisation. De par ce comportement, une fine couche de liquide magmatique se démarque, la *boundary-layer liquid*, et change de composition vis-à-vis du liquide environnant, et cela en s'amplifiant au fur et à mesure que la cristallisation progresse. Cette concentration en éléments incompatibles peut engendrer une saturation locale provoquant la cristallisation de minéraux, même si le liquide magmatique n'est pas saturé en ces minéraux. Plusieurs expériences (London, 1999; Morgan and London, 2005; London and Morgan, 2017) ont permis de mettre en avant que le liquide formé au sein de la *boundary-layer liquid* est globalement pauvre en silice (55 wt% SiO₂) mais saturé en quartz et enrichi en H₂O dû à l'accumulation d'éléments fluants (B, P, F). Ce processus est également à l'origine des textures graphiques et des zones massives d'aprites litées (London, 2009). Alternativement à cela, l'enrichissement progressif en éléments exclus (incompatibles et fluants) de la *boundary-layer liquid* peut amener à la création d'une 2) « **constitutional zone-refining** » (Fig. I-4). Ce concept, issu de la métallurgie permettant de se débarrasser des impuretés (éléments incompatibles dans le métal), se traduit dans les pegmatites par une forte concentration d'éléments exclus le long du front de cristallisation et agissant comme des fondants, engendrant une forte diminution de la température du solidus et une augmentation de la diffusivité des ions au sein de la *boundary-layer liquid*. Cela facilite, i) la dissolution du liquide magmatique environnant au sein de la *boundary-layer liquid*, ii) le transport des ions vers et depuis les phases cristallines en croissance (minéral exotique), et iii) empêche la nucléation de nouvelles phases cristallines le long du front de cristallisation. Ce processus est très efficace pour l'enrichissement en éléments rares des pegmatites et permet d'expliquer non seulement les textures pegmatitiques typiques, mais également les forts taux de minéralisations que l'on peut retrouver, même dans les pegmatites faiblement évoluées (quelques dizaines à centaines de ppm de B, P et F) (London, 2018).

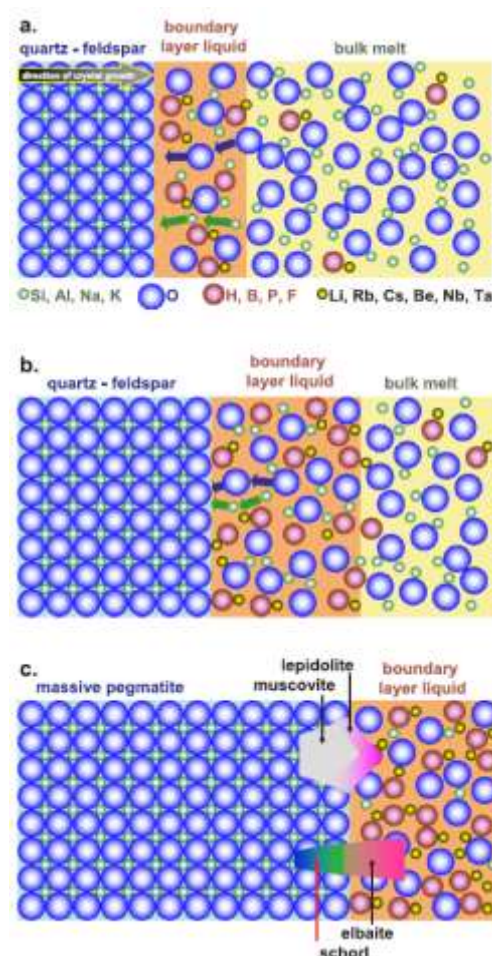


Fig. 1-4 : Modèle schématique de la constitutional zone refining (CZR) illustrant le comportement des éléments fluants et incompatibles dans un liquide pegmatitique. De (a) à (c), concentration des éléments fluants et incompatibles le long du front de cristallisation (boundary layer liquid), favorisant ainsi la croissance des minéraux. D'après London, 2018.

c. Modèles alternatifs

En s'appuyant sur le modèle de London (2008), Thomas and Davidson, (2012) proposent qu'au cours de l'évolution d'une pegmatite, il y a immiscibilité entre deux magmas, l'un peralumineux à métalumineux, faiblement enrichi en éléments volatils (11 % H_2O en moyenne) et visqueux, et l'autre, alcalins à peralcalins, très enrichi en éléments volatils (26 % H_2O en moyenne) et très peu visqueux. Le caractère sous saturé en H_2O des liquides pegmatitiques a fait longtemps débat. Thomas *et al.*, (2000) puis Thomas and Davidson, (2012) ont montré par de nombreuses analyses d'inclusions fluides que le magma à l'origine des pegmatites comportait des teneurs très élevées en H_2O , pouvant atteindre jusqu'à 20 pourcents. Thomas et Davidson (2012) vont également plus loin en caractérisant les éléments pouvant jouer le rôle de fondant, au nombre de 17 (H_2O , OH^- , CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , H_3BO_3 , F, Cl, Li, Na, K, Rb, Cs, Be), et pouvant jouer un rôle prépondérant dans les minéralisations en éléments rares. Ils montrent par exemple qu'une forte concentration en alcalins augmenterait drastiquement la solubilité d'Al et Si, permettant ainsi

aux liquides pegmatitiques de concentrer d'autres éléments rares à des concentrations économiquement rentables. Enfin de telles teneurs en H₂O et éléments fluants permettrait d'abaisser de plusieurs ordres de grandeurs (jusqu'à 7) la viscosité des liquides pegmatitiques par rapport aux liquides granitiques hyperalumineux, pour des températures de 700°C (Thomas and Davidson, 2012).

Une origine hydrothermale des pegmatites à éléments rares a également été soutenu par plusieurs auteurs (Gresens, 1969; Roedder, 1981). Elles se développeraient en système semi-ouvert, à partir de solutions hydrothermales, un peu à la manière de veines hydrothermales. Ce modèle a été critiqué par plusieurs auteurs notamment sur le fait qu'une solution hydrothermale H₂O-CO₂-NaCl (fluide typique des processus magmatiques de granites évoluées) possède de très faibles capacités de transport à des pressions et températures relativement modérées (similaires aux pegmatites) (London, 2011). De plus, la composition granitique des pegmatites à éléments rares montre une forte teneur en aluminium avec l'omniprésence en forte abondance de plusieurs feldspaths (minéraux riches en Al). Bien que la solubilité de l'aluminium augmente dans une solution aqueuse qui contient des éléments comme le B, F ou le P (Manning, 1981; London *et al.*, 1988, 1993), elle reste quand même très faible dans les solutions salines aqueuses (London, 2018). Cela ne permet pas d'atteindre les ordres de grandeurs des concentrations nécessaires à la formation des pegmatites granitiques. Enfin, London (2011b) argumente sur le fait que dans la plupart des cas, il n'existait pas de très fortes altérations hydrothermales des roches encaissantes aux pegmatites granitiques.

La cristallisation de pegmatites à partir d'un gel de silicate hydraté a également fait le fruit de plusieurs études (Wilkinson and Nolan, 1996; Williamson *et al.*, 2002). L'hypothèse de cette origine réside dans le fait qu'un environnement sous forme de gel supprime la convection et l'advection, ne permettant que la diffusion des espèces aqueuses. Même à faible pression et température, les gels empêchent également la nucléation et favorisent donc une faible abondance de minéraux mais de grande taille. Bien qu'il ne soit pas concevable qu'un état de gel soit permanent sur toute la durée de cristallisation d'une pegmatite, certains auteurs (Brotzen, 1959; Thomas and Davidson, 2008) mettent le point sur la possible existence de cet état au cours de l'évolution d'une pegmatite, notamment lors de la formation des cœurs de quartz.

Partie 2. Origine(s) des pegmatites

Un des grands débats qui fait rage depuis plusieurs décennies sur les pegmatites à éléments rares (LCT) est leur origine / source. A l'heure actuelle, deux grands modèles se font face avec d'un côté, le modèle dit granitique, faisant intervenir un pluton granitique source, et de l'autre, le modèle dit anatectique, où les pegmatites se forment directement par fusion d'une source méta-sédimentaire.

1. Le modèle granitique

Le modèle de formation des pegmatites de type LCT le plus communément admis à l'heure actuelle est le modèle granitique (Fig. I-5). Premier modèle élaboré, il a été initié par Cameron *et al.*, (1949), puis soutenu et continuellement amélioré par Jahns et Burnham (1969), Cerny *et al.*, (1991, 2005), ou encore dernièrement par London (2008, 2018). Dans ce modèle, les magmas pegmatitiques se forment lors des derniers stades de cristallisation d'un pluton granitique hyperalumineux. Durant ce stade, le magma résiduel s'enrichit en éléments incompatibles et en fluants (e.g. Li, F, B, P, H₂O), puis à la faveur de diverses contraintes tectoniques, ce magma est expulsé formant ainsi des pegmatites. Ce modèle est basé sur des évidences texturales et minéralogiques (Shearer *et al.*, 1987), mais également géochimiques Cerny *et al.*, (2005) telles que : i) l'évolution texturale continue entre le granite source et les pegmatites, mais également ii) la continuité géochimique existante entre les différentes suites de pegmatites, et iii) entre les pegmatites et le granite source (zonation géochimique régionale).

De multiples études ont permis de mettre en évidence l'origine granitique de nombreux champs de pegmatites proches de plutons (Cerny *et al.*, 1985, 2012; Cerny, 1991b; Shearer *et al.*, 1992; Cerny and Lenton, 1995; Fuertes-Fuente and Martin-Izard, 1998; Roda Robles *et al.*, 1999; Roda-Robles *et al.*, 2006, 2018; Vieira *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2012; Novak *et al.*, 2012; Marchal *et al.*, 2014; Romer and Kroner, 2016; Mulja and Williams-Jones, 2018). Cependant, la majorité d'entre elles s'appuyant quasi-exclusivement sur des indicateurs géochimiques de fractionnement magmatique (tels que K/Rb ou encore Li/Cs), très peu de ces travaux s'attardent sur les relations structurales pouvant se créer lors de la mise en place des pegmatites dans un modèle granitique (Gapais and Laouan Brem Boundi, 2015; Hulsbosch *et al.*, 2017). Par exemple dans ce modèle, il est important de considérer que les pegmatites les plus évoluées sont nécessairement les plus tardives à se mettre en place.

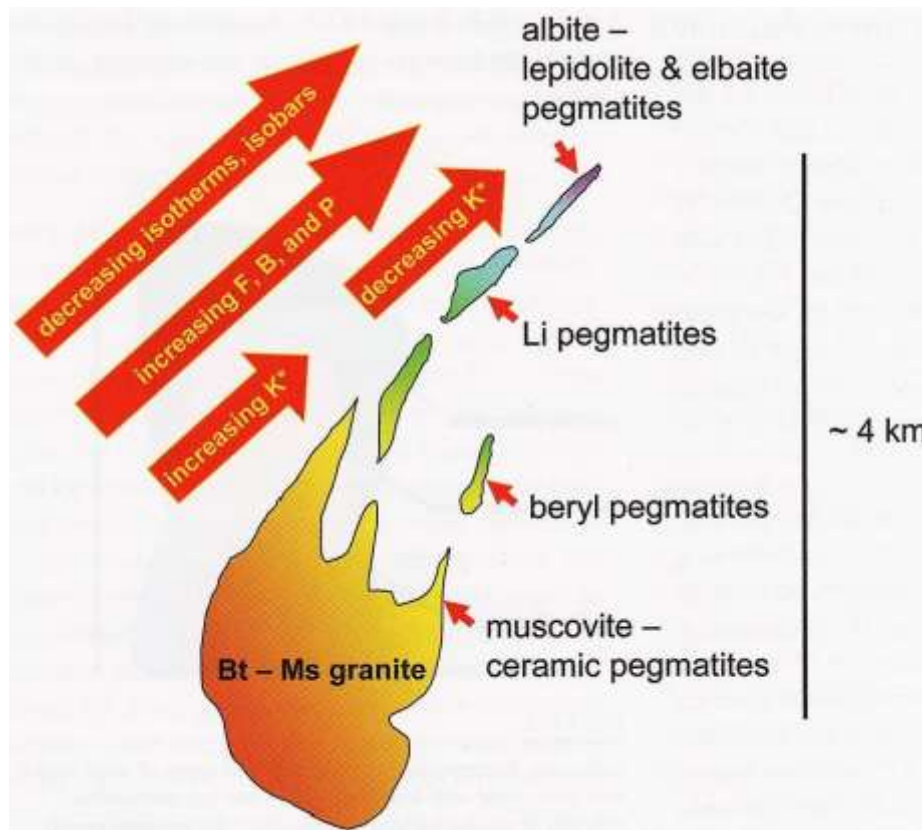


Fig. I-5 : Schéma du modèle granitique montrant l'évolution chimique avec la distance, depuis leur source (pluton granitique hyperalumineux à biotite-muscovite), des différents types de pegmatites LCT (London, 2008).

Plusieurs scénarios sont proposés par London (2008) afin d'expliquer la formation, la mise en place et les liens génétiques (zonation régionale) des différentes pegmatites issues d'un pluton granitique parent (Fig. I-6). Dans ces scénarios plusieurs incohérences liées aux observations de terrains sont décrites.

Le premier scénario propose un fractionnement séquentiel depuis un pluton granitique évolué, cependant jamais sur le terrain des relations de recoupement entre des pegmatites communes et des pegmatites évoluées n'ont été observées. Le deuxième scénario met en avant un fractionnement magmatique simultané du complexe granite-pegmatite. Là encore cela nécessiterait que la totalité du complexe granite-pegmatite soit interconnecté (jusqu'à 10km de long), des pegmatites les plus évoluées au granite source. Cependant, les observations de terrain montrent que les pegmatites ont perdu la connexion avec leur source bien avant leur cristallisation totale. Le dernier scénario invoqué par London met en avant l'expulsion des liquides pegmatitiques par compaction d'un granite évolué. Ce dernier, le plus accepté à l'heure actuelle, rend compte des observations géochimiques rencontrées sur le terrain mais pose encore quelques questions principalement d'un point de vue structural : quels sont les mécanismes à l'œuvre pour l'extraction et la mise en place des pegmatites, en

contexte compressif ? Et en contexte extensif ? Quel est la chronologie de mise en place (continue / discontinue) des différents types de pegmatites ?

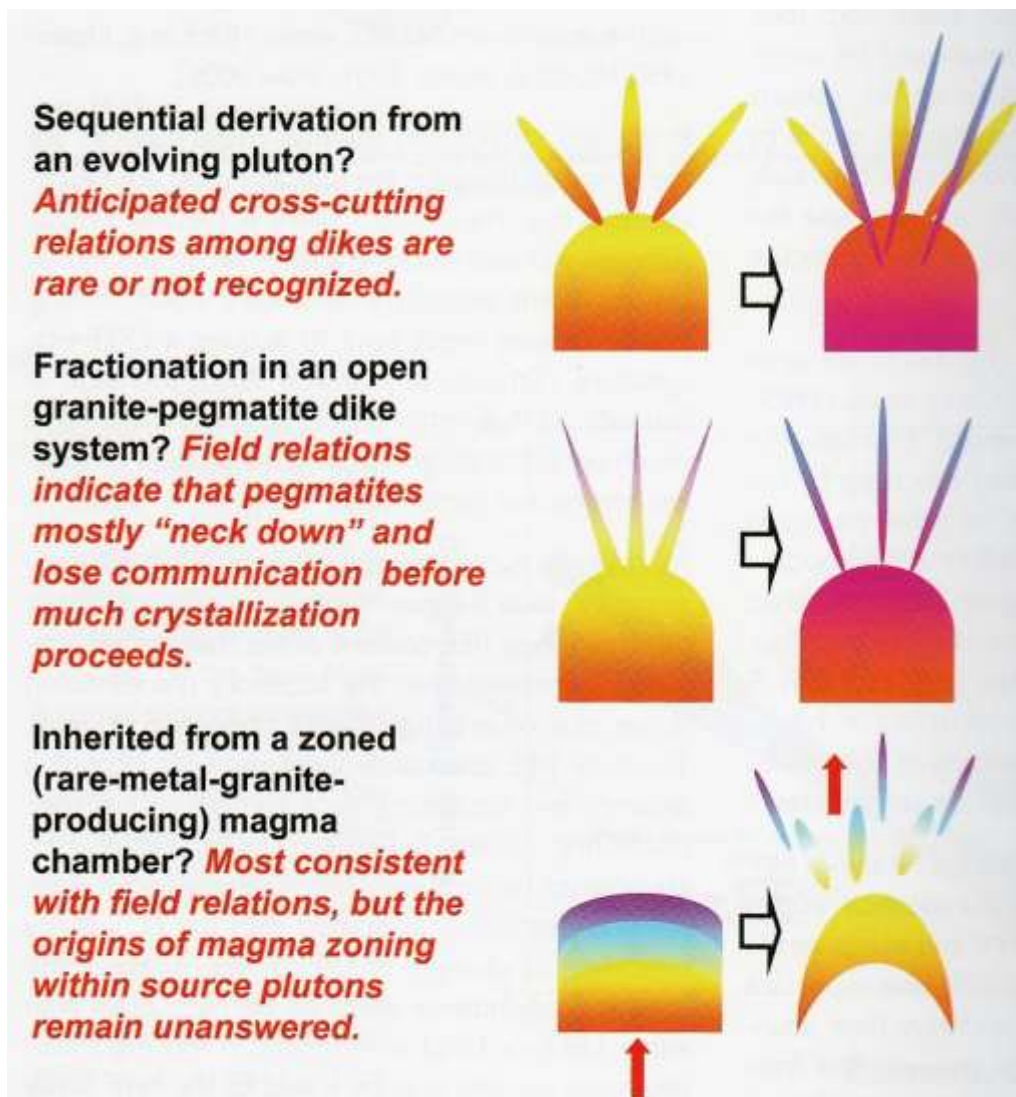


Fig. I-6 : Scénarios possibles pour la formation des champs de pegmatites zonées à partir d'un pluton granitique source (London, 2008).

2. Le modèle anatectique

Le modèle alternatif au modèle granitique de formation des pegmatites est le modèle par anatexie locale. Un des premiers auteurs à suggérer ce modèle est Stewart, (1978). Il propose dans ces travaux que les pegmatites riches en Li pourraient se former à partir de très faibles degrés de fusion partielle de roches métamorphiques relativement enrichies. Plus récemment, d'autres auteurs tels que Shearer *et al.*, (1992) suggèrent que les pegmatites riches en Li du district des Black Hills (Dakota du Sud, USA) ne sont pas liées au granite de

Harney Peak et ses milliers de pegmatites communes (i.e. faiblement évoluées), du fait notamment de la grande diversité des signatures géochimiques bien distinctes. De plus, Nabelek *et al.*, (1992) proposent que cette diversité géochimique au sein des pegmatites des Black Hills serait principalement liée aux variations des conditions métamorphiques, faisant ainsi varier les conditions de fusion et les sources. Enfin, d'autres auteurs préconisent une origine anatectique directe en raison de la similitude des compositions géochimiques entre les pegmatites et leur roche encaissantes (schistes) (Shaw *et al.*, 2016; Simmons *et al.*, 2016).

La majorité des études soutenant le modèle anatectique se base sur des discontinuités géochimiques et / ou temporelles entre granite et pegmatites (Damm *et al.*, 1992; Nabelek *et al.*, 1992; Simmons *et al.*, 1995; Simmons and Webber, 2008; Martins *et al.*, 2012; Melleton *et al.*, 2012; Deveaud *et al.*, 2015; Bongiolo *et al.*, 2016; Shaw *et al.*, 2016; Müller *et al.*, 2017; Turlin *et al.*, 2017; Fuchsloch *et al.*, 2018). De récents travaux s'appuient également sur les différentes relations spatiales (Deveaud *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018) afin notamment d'expliquer les effets de cluster et les zonations atypiques des pegmatites, non conforme aux zonations minéralogiques régionale classiques.

Cependant, du fait d'un manque essentiel d'études expérimentales, notamment sur la fusion de métasédiments relativement enrichis, le modèle de formation des pegmatites par anatexie locale reste très discuté. Par exemple, basé sur des critères géochimiques plusieurs auteurs (Bea, 1996; Cerny *et al.*, 2005) mettent en évidence que les taux de fusions trop faibles lors de la formation de migmatites, ne permettent pas une concentration suffisante en éléments incompatibles, éléments volatils (Li, B, P, F, H₂O) et HFSE pour atteindre les concentrations mesurées dans les pegmatites LCT.

II. Chapitre II : Le Cap de Creus

Partie 1. Géologie du Cap de Creus : contexte générale, structures, métamorphisme

1. Introduction

Depuis quelques décennies, plusieurs travaux se sont intéressés à l'origine -anatectique vs granitique- des divers champs de pegmatites Varisques présents en Europe. Bien que plusieurs de ces champs présentent des liens directs avec une source granitique (Cheilletz *et al.*, 1992; Raimbault, 1998; Melleton *et al.*, 2011; Deveaud *et al.*, 2013; Roda-Robles *et al.*, 2016, 2018), de nombreux champs de pegmatites Varisques ne présentent pas de corrélations spatiales avec de potentiels plutons granitiques sources. De plus, l'association fréquente de pegmatites et de migmatites dans ces domaines remet en question l'origine granitique des pegmatites, et suggère une origine anatectique (Roda Robles *et al.*, 1999; Martins *et al.*, 2012; Melleton *et al.*, 2012; Deveaud *et al.*, 2015; Barros and Menuge, 2016; Shaw *et al.*, 2016; Konzett *et al.*, 2018). Cependant, la majorité de ces études sont basées sur des analyses géochimiques, moins fréquemment sur des analyses géochronologiques, et plus rarement sur des analyses géostatistiques. Il semble important de noter que dans ces champs de pegmatites Varisques, aucunes relations structurales entre la position des pegmatites et les déformations régionales n'ont jamais été établies.

Au Cap de Creus, le champ de pegmatites d'âge Varisque est également caractérisé non seulement par l'absence d'un pluton granitique, mais également par la présence de zones migmatitiques. Du fait de l'abondance et de la qualité exceptionnelle des affleurements, le Cap de Creus a fait l'objet de nombreuses études structurales. Ces travaux se sont principalement axés sur l'évolution des différentes déformations régionales (Carreras and Druguet, 1994, 2014; Druguet *et al.*, 1997, 2009; Druguet and Hutton, 1998; Carreras, 2001; Druguet, 2001; Piazzolo and Passchier, 2002; Carreras *et al.*, 2005; Druguet and Carreras, 2006; Fusseis *et al.*, 2006; Alsop and Carreras, 2007; Gomez-Rivas *et al.*, 2007; Fusseis and Handy, 2008; Candami *et al.*, 2013; Ponce *et al.*, 2013), mais également sur les relations entre le magmatisme et l'évolution structurale de la région (Carreras and Druguet, 1994; Druguet *et al.*, 1997; Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Bons *et al.*, 2004), ou encore sur l'évolution géochimique du magmatisme présent dont les pegmatites (Alfonso *et al.*, 1995, 2003; Alfonso and Melgarejo, 2000). Cependant, aucunes corrélations n'ont été établies entre l'évolution des différentes déformations régionales, la mise en place des pegmatites et leur source. C'est pourquoi le Cap de Creus est un lieu idéal pour étudier en détails l'origine granitique vs anatectique des pegmatites, intégré dans un contexte tardi-orogénique Varisque.

2. Contexte géologique

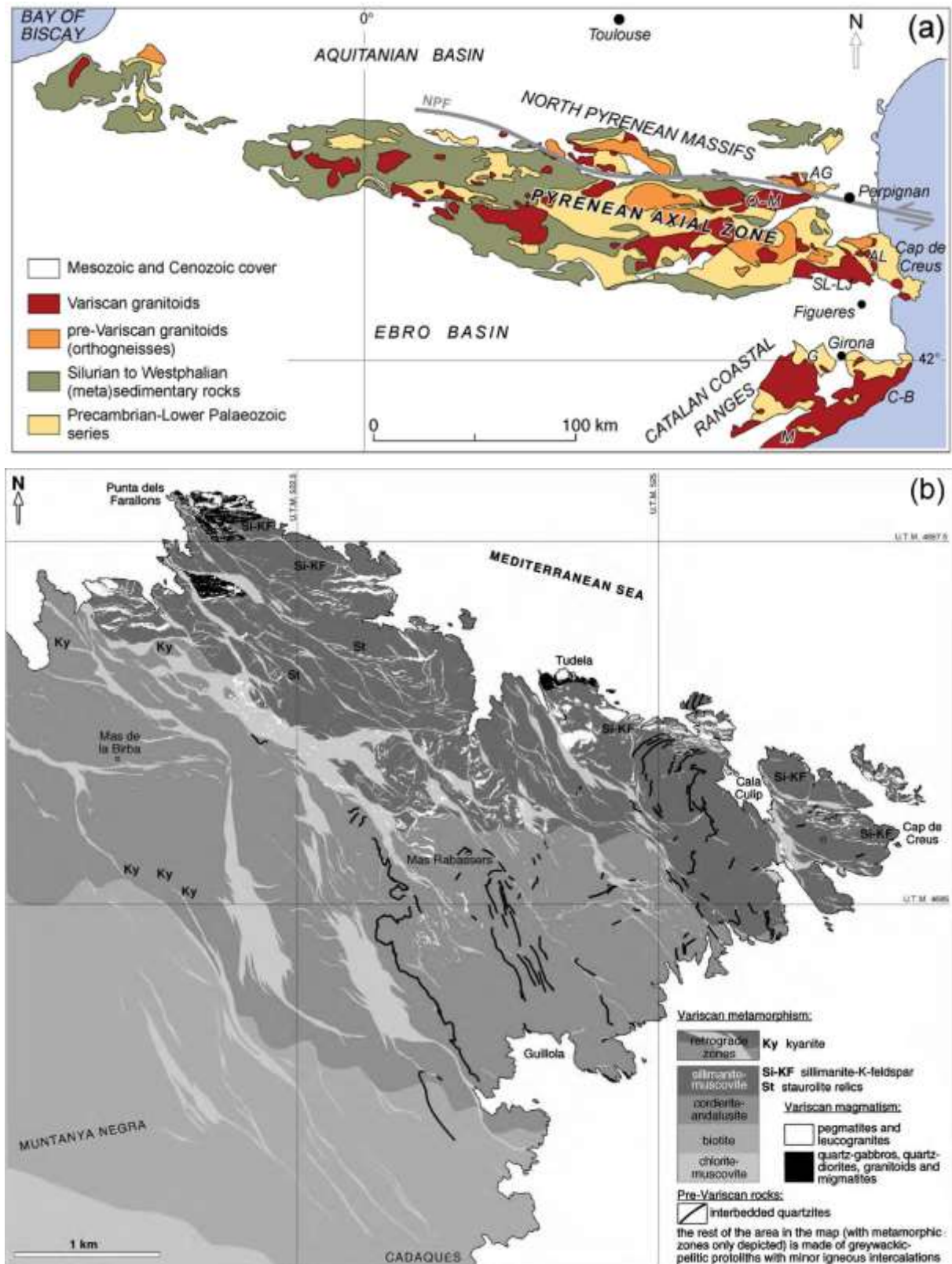


Fig. II-1 : Contexte géologique du Cap de Creus. a) Carte géologique schématique des Pyrénées. Seules les roches pre-Paléozoïque et Paléozoïque, ainsi que les massifs Varisques sont mis en évidence. AG – Agly ; NPF – North Pyrenean Fault ; Q-M – Querigut-Millàs ; SL-LJ – Sant Llorenç – La Jonquera ; AL – Albères ; G – Guillerics ; C-B – Costa Brava ; M – Montnegre. D'après Druguet et al., 2014. b) Zonation métamorphique et magmatisme du Cap de Creus. D'après Druguet, 2001.

Le Cap de Creus, situé à l'extrême Est des Pyrénées, appartient à la Zone Axiale (ZA) Pyrénéenne et fait partie du socle Varisque (Carreras and Capella, 1994; Druguet, 2001; Carreras and Druguet, 2014) (Fig. II-1). Il est caractérisé principalement par une épaisse série méta-sédimentaire (plus de 2 km d'épaisseur) alternant entre des bancs métapélitiques et des bancs méta-gréseux (métagreywackes). De plus, au sein de cette série il est possible d'observer des niveaux carbonatés (calcaire métamorphisé), siliceux (quartzite sédimentaire métamorphisé), ainsi que des roches à amphibole-plagioclase. Cette série, dont le protholite sédimentaire a été daté entre 577 et 558 Ma (Casas *et al.*, 2015), est intrudée par différentes roches magmatiques telles que des diorites riches en quartz, des granodiorites ou encore des leucogranites et des pegmatites. Durant l'orogène Varisque, trois épisodes de déformations majeurs vont affecter cette série méta-sédimentaire (Carreras and Druguet, 1994) (Fig. II-2). L'épisode de déformation le plus ancien (D1) est un épisode caractérisé par un métamorphisme de BP/HT, conduisant au développement d'une schistosité (S1) subparallèle au litage stratigraphique (S0). Par la suite se met en place l'épisode de déformation D2. Cet épisode est caractérisé par le plissement de la schistosité S1 dans des conditions métamorphiques progrades de BP/HT, accompagné par la mise en place des différentes roches magmatiques. Cette augmentation de la température engendre le développement des zones à chlorite-muscovite au sud de la zone, aux zones à sillimanite-feldspath K et de fusion partielle au nord. Le pic de métamorphisme associé à D2 a été estimé aux alentours de 670°C et 4,7kbars par Druguet (2001), et l'intrusion de la diorite riche en quartz de Tudela a été daté autour 299 Ma (U/Pb sur zircon, Druguet *et al.*, (2014)). Le dernier épisode de déformation D3 conduit au développement, dans des conditions rétrogrades de métamorphisme, d'un réseau de zones de cisaillement globalement NO-SE, et présentant un sens de cisaillement principalement inverse-dextre. De plus, ces zones de cisaillements recoupent l'ensemble des structures D1 et D2, postdatant clairement l'évènement de déformation D3 au métamorphisme de BP/HT, et à tous les types de magmatisme y compris les pegmatites.

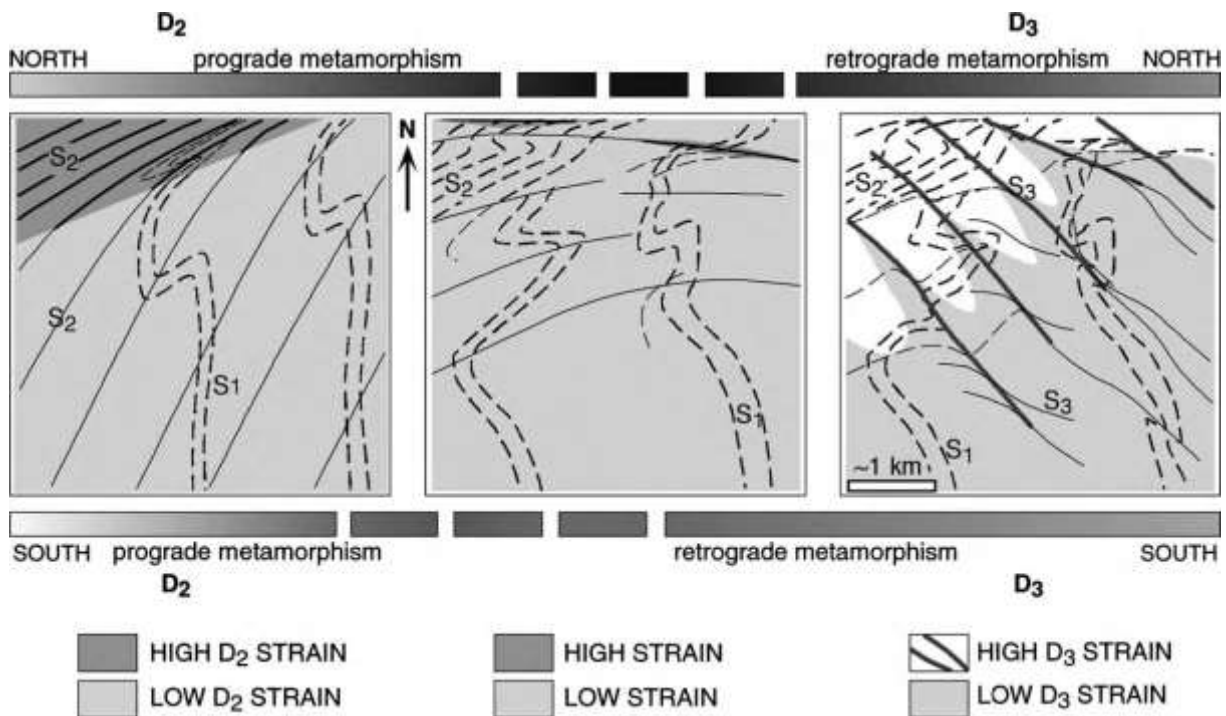


Fig. II-2 : Schémas vu en carte de l'évolution structurale de la zone du Cap de Creus caractérisée par les trois phases de déformations majeures Varisques. Les lignes épaisses représentent la foliation dominante à chaque stage. Les lignes continues représentent les foliations en cours de développement et les lignes en pointillés sont les foliations déformées. Les déformations D2 se mettent en place au cours du métamorphisme prograde alors que les déformations D3 apparaissent lors du métamorphisme rétrograde. Durant le stage intermédiaire entre D2 et D3, le métamorphisme n'est pas le même au nord et au sud : alors qu'au nord on est dans des conditions métamorphiques progrades, proche du pic, au sud se développe un métamorphisme dans des conditions rétrogrades. D'après Druguet, 2001.

Les différentes études structurales ont permis de mettre en évidence les principales caractéristiques des pegmatites du Cap de Creus (Carreras and Druguet, 1994; Druguet *et al.*, 1997; Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Bons *et al.*, 2004). Les pegmatites du CdC, d'orientation préférentielle globalement E-O, se composent de filons sub-verticaux centimétriques à hectométriques (jusqu'à 100m de large et 200m de long) qui peuvent être planaire ou présenter une géométrie plus irrégulière. C'est au sein des zones de plus haut grade métamorphique (sil-ms et sil-fd K) et les zones de fusion partielle que l'abondance ainsi que la taille des pegmatites est la plus importante. Egalement, quelques pegmatites sub-horizontales sont présentes (quasi-exclusivement autour de la zone du Phare) et sont caractérisées par une continuité texturale avec les filons verticaux, ces derniers servant probablement de filons d'alimentation. D'après la nature même des liquides pegmatitiques, les déformations à l'état magmatique sont absentes, du fait notamment de la vitesse de croissance des minéraux (grande taille de cristaux) ainsi que de leur orientation préférentielle de croissance perpendiculaire aux épontes. Cependant les pegmatites les plus grandes, situées principalement dans la zone de Tudela (zone de fusion partielle), peuvent présenter un litage magmatique parallèle à la schistosité principale S2.

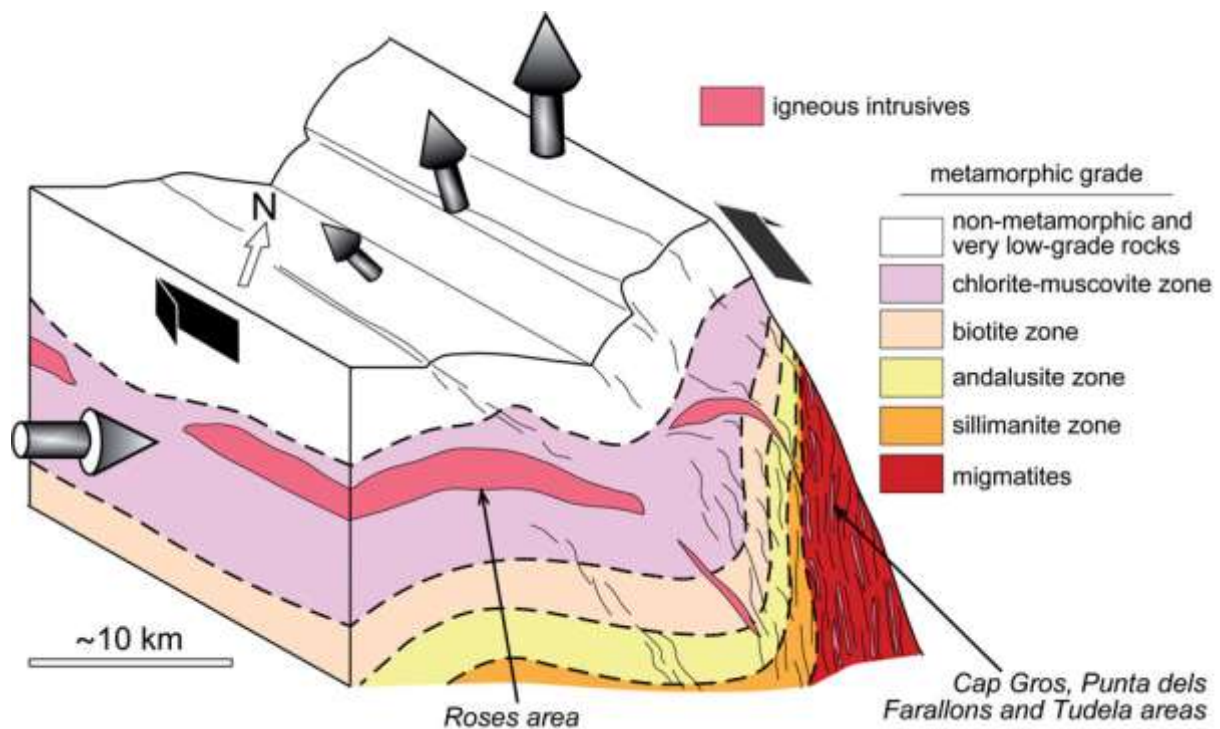


Fig. II-3 : Bloc diagramme schématique (et non à l'échelle) de la région du Cap de Creus montrant la nature transpressive de l'évènement de déformation D2, basée sur le modèle de Druguet (2001) et de Carreras et Druguet (2013). Les structures de déformation D2 (traits fins noirs) sont plus pénétratives avec la profondeur, et la cinématique régionale est un couplage de cisaillements simples, d'une part dextre horizontal et d'autre part inverse vertical (grosses flèches noires). D'après Druguet et al., 2014.

Ces différents travaux ont également montré que la mise en place des différentes roches magmatiques intermédiaires (diorites riches en quartz, granodiorites), ainsi que des pegmatites était synchrone de la déformation régionale D2 (Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Druguet et al., 2014) (Fig. II-3). D'après des observations majoritairement de terrain, ces auteurs ont montré que la mise en place des pegmatites était post pic thermique et se faisait dans un laps de temps assez court. Egalement, qu'il existait un lien étroit entre la géométrie des pegmatites et l'angle existant entre la pegmatite et la schistosité principale. Les pegmatites ayant un angle faible avec la schistosité principale sont étirées (dans le plan de schistosité), tandis que les pegmatites ayant un angle fort avec la schistosité principale sont plissées. Les plis sont coaxiaux à ceux que l'on retrouve dans les roches encaissantes alentours mais plus ouverts, ce qui indique qu'une certaine déformation s'est produite avant la mise en place de la pegmatite et qu'elle s'est poursuivie par la suite. Enfin, ces auteurs ont montré qu'il existait dans les zones adjacentes aux migmatites, une catégorie de pegmatites non déformées, de géométrie planaire et recoupant la foliation transposée S1-2.

Une des études les plus récentes (Druguet, 2019) s'est intéressée à l'orientation préférentielle et contre-intuitive d'une grande partie des pegmatites subparallèles aux plans axiaux des plis S2 (c.-à-d. se mettant en place perpendiculairement à la direction de

raccourcissement). Dans ce modèle, Druguet propose que la formation de ces filons se crée par l'apparition d'un réseau de fractures dans le flanc le plus court des plis asymétriques durant le plissement progressif.

Partie 2. Les pegmatites du Cap de Creus : Pétrologie, classification, zonation, datation, état de l'art

1. Classification des pegmatites du Cap de Creus

D'après la classification de Cerny et Ercit, (2005), les pegmatites du Cap de Creus font parties de la famille des pegmatites à Lithium Césium Tantale (LCT). Selon des critères pétrologiques, minéralogiques et texturales, quatre types de pegmatites ont été établis par Corbella i Cordomi and Melgarejo, (1993) (Fig. II-4). Ces auteurs ont montrés que ces pegmatites étaient organisées relativement parallèlement aux isogrades métamorphiques avec les pegmatites les moins évoluées (type I et II) dans les zones à sillimanite-muscovite et migmatites, et les pegmatites les plus évoluées (type III et IV) dans les zones à cordiérite-andalousite (Fig. II-5).

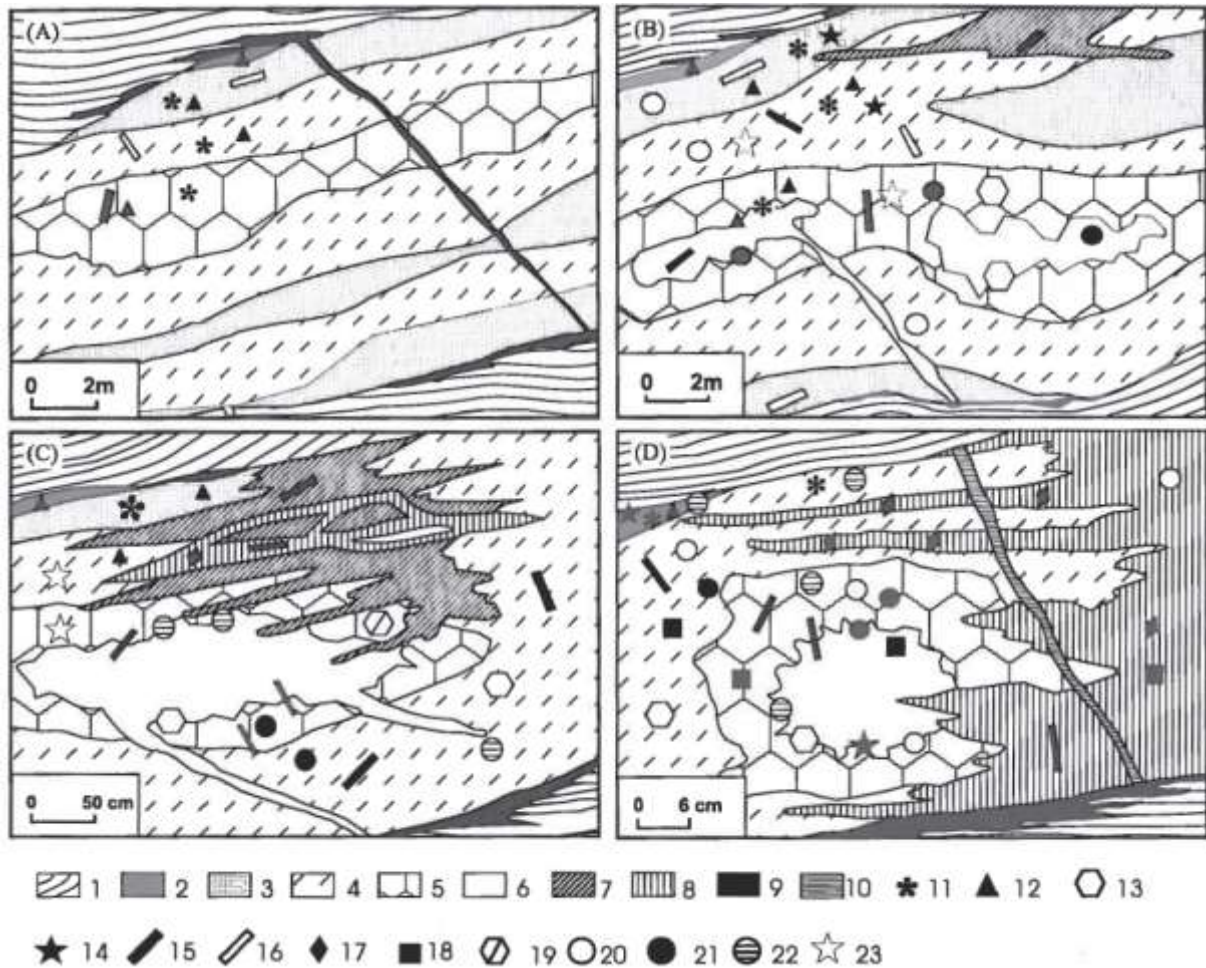


Fig. II-4 : Modèles idéalisés des structures internes et des minéralisations des différents types de pegmatites du Cap de Creus : A – Pegmatites de type I ; B – Pegmatites de type II ; C – Pegmatites de type III ; D – Pegmatites de type IV. 1 – Roche encaissante ; 2 – Zone de contact ; 3 – Zone de bordure ; 4 – 1^{ère} zone intermédiaire ; 5 – 2^{ème} zone intermédiaire ; 6 – Cœur de quartz ; 7 – Zones de remplacements albitiques ; 8 – Veines de quartz-muscovite ; 9 – Veines de tourmaline et tourmalinite ; 10 – Phosphates d'Al-Li-Be associés à des veines tardives ; 11 – Minéraux silicatés riches en Al ; 12 – Tourmaline ; 13 – Béryl ; 14 – Chrysobéryl ; 15 – Colombo-tantalite ; 16 – Rutile et oxydes riches en Ti ; 17 – Cassitérite ; 18 – minéraux porteurs de REE ; 19 – Phosphates de Be en remplacement du béryl ; 20 – Lazulite ; 21 – Phosphates de Ca-Fe-Mn-Mg ; 22 – Phosphates primaires à Li ; 23 – Phosphates à Be en remplacement du chrysobéryl. D'après Corbella et Melgarejo (1993).

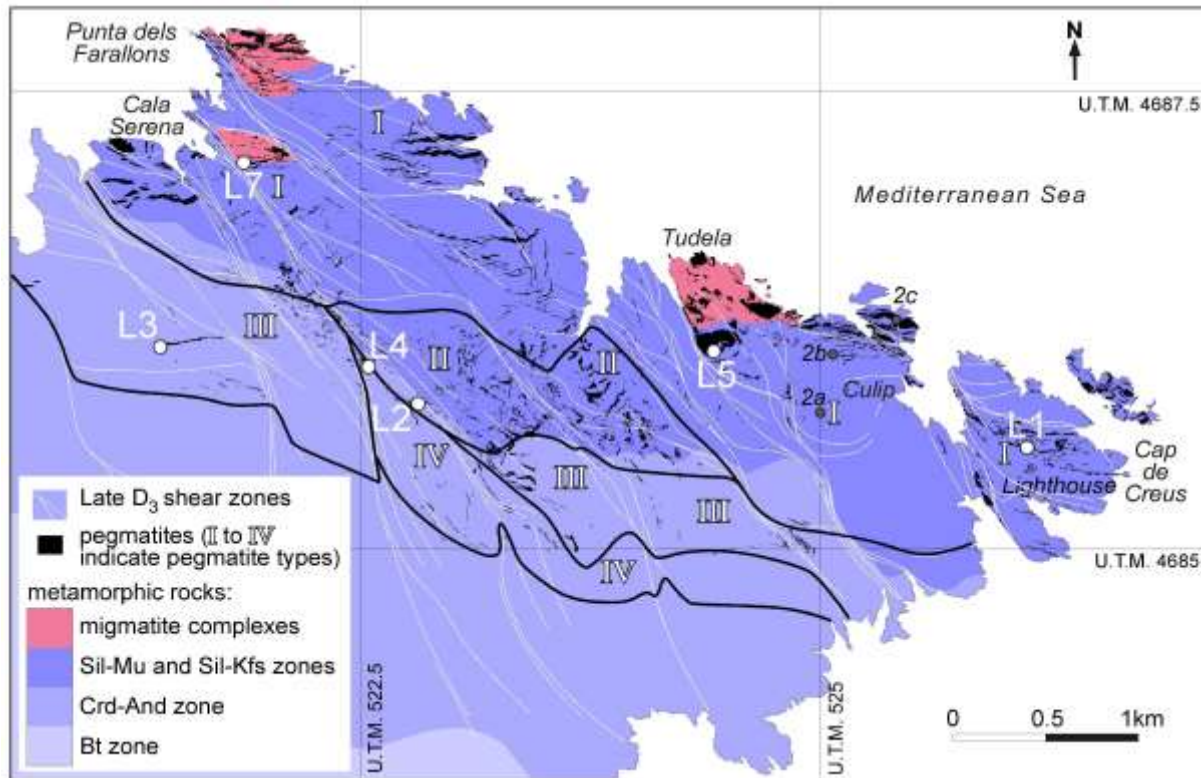


Fig. II-5 : Carte géologique du Cap de Creus montrant la distribution des quatre types de pegmatites. Modifié depuis Corbella i Cordomi and Melgarejo, (1993), d'après Van Lichtervelde *et al.*, (2017).

a. Les pegmatites stériles riches en feldspath K (type I)

Les pegmatites de Type I (Fig. II-4A) se situent dans les zones migmatitiques ainsi que dans les zones à Sill-Ms et Sill-K Fds du Cap de Creus. Ces zones présentes au nord de la zone d'étude s'étendent du « Cap de Creus » à la « Punta dels Farallons » en passant par le « Puig de Culip », « Tudela », la « Cala Galladera » et le « Puig de Cala Sardina ».

Ces pegmatites dites stériles (en métaux rares) sont les plus abondantes et sont caractérisées par une minéralogie dominée par le quartz, le feldspath potassique et les plagioclases, ainsi qu'une forte proportion en biotite et / ou muscovite, grenat et tourmaline. Il n'est pas rare également de retrouver des aluminosilicates tels que la cordiérite ou la sillimanite. La taille des minéraux dominant varie de quelques millimètres à quelques dizaines de centimètres pour les plus grands (e.g. la tourmaline). Très peu de minéraux accessoires sont présents au sein de ces pegmatites. D'une taille inférieure à la centaine de micromètres, ils ne sont visibles qu'en microscopie et sont caractérisés par l'apatite, la colombo-tantalite et en moindre mesure la monazite et le xénotime.

Ces pegmatites présentent une zonation simple avec une zone de bordure, une 1^{ère} zone intermédiaire, une 2^{ème} zone intermédiaire et un cœur de quartz plus ou moins développé. Il n'est pas rare également d'observer dans ces pegmatites des poches d'aprites et des textures graphiques (inter croissance quartz-feldspath). De plus, des veines de quartz et

tourmaline recoupent régulièrement les corps pegmatitiques, et la tourmaline est régulièrement présente sur les contacts externes.

b. Sous famille des pegmatites à béryl-colombite (type II)

Les pegmatites de type II (Fig. II-4B) font partie de la sous famille des pegmatites à béryl-colombite et se localisent dans les zones à sill-Ms, entre le « coll de ses Portes », « mas Rabassers de Baix », la « cala Portalo » et le « rocal dels Marroquins ». Elles sont présentes également le long d'une grande zone de cisaillement allant du « rocal dels Marroquins » à la « cala Ravaner ».

Tout comme les pegmatites de type I, ces pegmatites sont composées essentiellement de quartz et de feldspaths avec différents minéraux accessoires tels que, la biotite, la muscovite, le grenat, la tourmaline ou encore la cordiérite, et elles représentent un stage intermédiaire entre les pegmatites de type I et les pegmatites de type III. Elles sont caractérisées par l'apparition de phosphates de Fe-Mn-Mg-Al-Be et de minéraux porteur de métaux rares tels que le béryl, le chrysobéryl ou la cassitérite. De plus, les abondances en minéraux de Nb-Ta sont relativement plus importantes.

Ces pegmatites ont globalement la même structure que les pegmatites de type I (zone de bordure, 1^{ère} et 2^{ème} zone intermédiaire), mais possèdent un cœur de quartz plus développé et il y a apparition de veines d'albite et de zones de remplacements (appelées également zones albitiques). On retrouve toujours également des poches d'aprites mais les fronts de cristallisations sont moins fréquents et les textures graphiques ont disparu.

c. Sous famille des pegmatites à béryl-colombite-phosphate (type III)

Les pegmatites de type III (Fig. II-4C) se concentrent dans la zone à Cor-And du Cap de Creus, depuis le « mas de Rabassers de Baix », jusqu'à « ses Orgues » en passant par le « puig des Camps Conreats » et le « puig de ses Formigues », ainsi qu'à l'Est du « mas de la Birba ».

Ces pegmatites, beaucoup moins abondantes que les types I et II sont composées essentiellement de quartz, feldspaths plagioclases et muscovite, et d'une faible abondance en feldspath alcalin, grenat et tourmaline. Bien que la tourmaline soit relativement rare, les contacts des pegmatites avec l'encaissant sont encore fréquemment tourmalinisés. Également, la cordiérite est absente, et ces pegmatites montrent une grande diversité de phosphates tels que des phosphates de Li (tryphillite, montebrasite) ou des phosphates de Ca-Mn-Fe (sarcopside, graftonite), et une forte augmentation de la proportion de minéraux riches en métaux rares (béryl, chrysobéryl, minéraux de Nb-Ta, cassitérite, gahnite et arsenopyrite).

Les pegmatites de type III sont caractérisées par une structure interne plus complexe, notamment avec le développement du cœur de quartz et des zones albitiques et l'apparition de veines à quartz-muscovite. On retrouve toujours quelques fronts de cristallisation de tourmaline et des poches d'aplite.

d. Les pegmatites à albite (type IV)

Les pegmatites de type IV (Fig. II-4D) appartiennent à la sous famille des pegmatites à albite et se localisent le plus au sud de la zone d'étude, dans la zone à Cor-And. Extrêmement dispersée du « puig d'en Climat » à la « punta de Codera », elles se concentrent tout de même du « mas Rabassers de Dalt » au « puig Palau ».

Ces pegmatites sont les plus évoluées mais également les moins abondantes du Cap de Creus. Elles sont essentiellement composées de quartz, feldspaths plagioclases et de muscovite. La tourmaline est très peu présente et le feldspath alcalin et le grenat ont disparu. Les proportions en minéraux porteur de métaux rares sont les plus élevées et la cassitérite, les phosphates de Li-Ca-Fe-Mn-Mg-Al-Be et les minéraux de Nb-Ta sont très communs. Les phosphates apparaissent dans toutes les zones des pegmatites (zones de bordures jusqu'à la 2^{ème} zone intermédiaire) formant des nodules de tailles variables.

Ces pegmatites présentent des structures internes similaires aux pegmatites de Type III avec quelques différences notables : une zone de bordure très peu développée, une augmentation de l'abondance des zones albitiques et veines à quartz-muscovite, et l'apparition de veines tardives à phosphates.

2. Géochimie des pegmatites du Cap de Creus

A part quelques analyses géochimiques réalisées par Druguet *et al.*, (1995) (analyses Roche Totale) et Corbella i Cordomi and Melgarejo, (1993) (analyses minéralogiques), la totalité des travaux géochimiques approfondis sur les pegmatites du Cap de Creus ont été faits par Alfonso *et al.*, (1995, 2000, 2003a).

Ces auteurs ont montré dans un premier temps (Alfonso *et al.*, 1995) que les minéraux porteurs de Nb-Ta-Sn-REE-Ti présentaient une augmentation significative du rapport Ta/(Ta + Nb) et en moindre mesure de Mn/(Mn + Fe), des pegmatites les moins minéralisées (type I) aux pegmatites les plus minéralisées (type IV).

Par la suite, ils se sont intéressés (Alfonso and Melgarejo, 2000) aux divers mécanismes (fractionnement magmatique, métasomatisme) à l'origine des variations régionales du B et du P au sein des pegmatites.

Enfin, dans une dernière étude (Alfonso *et al.*, 2003), ces auteurs se sont intéressés à l'origine des pegmatites du Cap de Creus. Basé sur des paramètres géochimiques tels que le rapport K/Rb vs Cs dans les feldspaths K et les muscovites, qui sont de bons indicateurs du degré de fractionnement des liquides magmatiques (Cerny *et al.*, 1985; Jolliff *et al.*, 1987; Cerny, 1991a), Alfonso *et al.*, (2003) ont montré que les pegmatites du Cap de Creus étaient caractérisées par un degré de fractionnement montrant une zonation régionale. Cette zonation, définie par une augmentation du degré de fractionnement des pegmatites les moins minéralisées (type I) aux pegmatites les plus minéralisées (type IV), est également accompagnée d'un enrichissement progressif de nombreux éléments tels que le P, Rb, Cs, Y, Sr, Ga, Ce, W ou encore l'Sn. D'après ces auteurs, la forte diminution de l'abondance relative des pegmatites (et de leur taille), des pegmatites de type I aux pegmatites de type IV, ainsi que leur enrichissement progressif témoigneraient d'une origine commune des magmas pegmatitiques. Ces derniers seraient issus d'un pluton granitique situés dans les zones de fortes intensités de déformation (nord de la zone), probablement au large, sous la surface de la Mer Méditerranée.

3. Températures, pressions et géochronologie des pegmatites du Cap de Creus

Les quelques pressions et températures de mise en place des pegmatites ont été estimées à partir d'inclusions fluides par Alfonso and Melgarejo, (2003, 2008). Ces différents travaux ont montré que les pressions et températures estimées étaient relativement homogènes quel que soit le type de pegmatite. Ces estimations, faites à partir d'inclusions fluides issues des 2^{èmes} zones intermédiaires, montrent des températures de cristallisation (magmatique) autour de 550°C, avec un maximum estimé à 640°C et un minimum à 520°C, tous deux obtenus sur des pegmatites de type III. Des travaux antérieurs (Damm *et al.*, 1992) avaient permis de déterminer des températures de cristallisation relativement similaires, de l'ordre de 600°C pour des pegmatites de type I, à partir des isotopes de l'oxygène. Les pressions de mise en place estimées sont également homogènes et comprises entre 3 et 3,8 kbars, correspondant à une profondeur de mise en place autour de 8-10 km. Enfin dans ces mêmes études, Alfonso and Melgarejo, (2003, 2008) ont estimé des températures et pressions de mise en place des veines tardives à quartz-muscovite dans les pegmatites les plus évoluées (type IV) autour de 400°C et 2 kbars. Les auteurs suggèrent ainsi l'existence d'un épisode d'exhumation, accompagnée de circulations hydrothermales, ayant lieu pendant et après la mise en place des pegmatites.

Une des grosses lacunes dans les travaux sur le Cap de Creus est le manque d'âges absolus, que ce soit pour les différents évènements de déformation (D1, D2, D3) ou encore les différents évènements magmatiques (mise en place des pegmatites, des zones migmatitiques ou des magmas intermédiaires). En ce qui concerne l'âge de mise en place des pegmatites, une seule étude a été produite. Dans ces travaux, Van Lichtenvelde *et al.*, (2017) obtiennent trois âges : deux âges U/Pb sur zircon primaire, datant ainsi la cristallisation d'une pegmatite de type I à 296.2 ± 2.5 Ma et d'une pegmatite de type III à 301.9 ± 3.8 Ma, et un âge U/Pb sur zircon secondaire et xénotime autour de 292 Ma correspondant à une remobilisation hydrothermale post-solidus au sein des pegmatites. Bien que les études géochronologiques soient pauvres au Cap de Creus, il faut noter quand même qu'aux vus des âges obtenus relativement très proches et des techniques analytiques actuelles, il semble très difficile d'établir une chronologie absolue de mise en place des pegmatites.

III. Chapitre III : Méthodologies

Partie 1. Méthodologie de terrain

Environ 3 mois de terrain (en cumulé) ont été effectués au cours de cette thèse sur la zone du Cap de Creus, ce qui m'a permis d'observer et de caractériser un nombre conséquent de pegmatites (163 corps de pegmatites) (Fig. III-1). L'ensemble de ces pegmatites ont fait l'objet d'observations pétrologiques et texturales avec la caractérisation de la composition et de l'abondance en minéraux accessoires majeurs -micas, aluminosilicates, grenat, tourmaline, phosphates-, mais également la caractérisation des structures internes comme les zonations minéralogiques, les textures pegmatitiques (e.g. textures graphiques), l'abondance des zones aplitiques, la présence ou non de cœur de quartz ainsi que leur typologie. Egalement pour chaque pegmatite, les caractéristiques structurales comme la géométrie en 3D (i.e. planaire, plissée), l'orientation, l'épaisseur et la longueur ont été établie. De plus, les relations structurales avec les roches encaissantes ont été établies et quantifiées (c.-à-d. sécantes ou parallèles à la schistosité principale), et des mesures structurales de foliation / schistosité, linéation et d'axe de pli ont été réalisées sur les pegmatites, mais également dans les roches encaissantes, à proximité et à distance de chaque corps. Toutes ces informations ont été regroupées dans une base de données (Annexe XII.1) dont une partie est présentée dans les tableaux III-1 à 3.

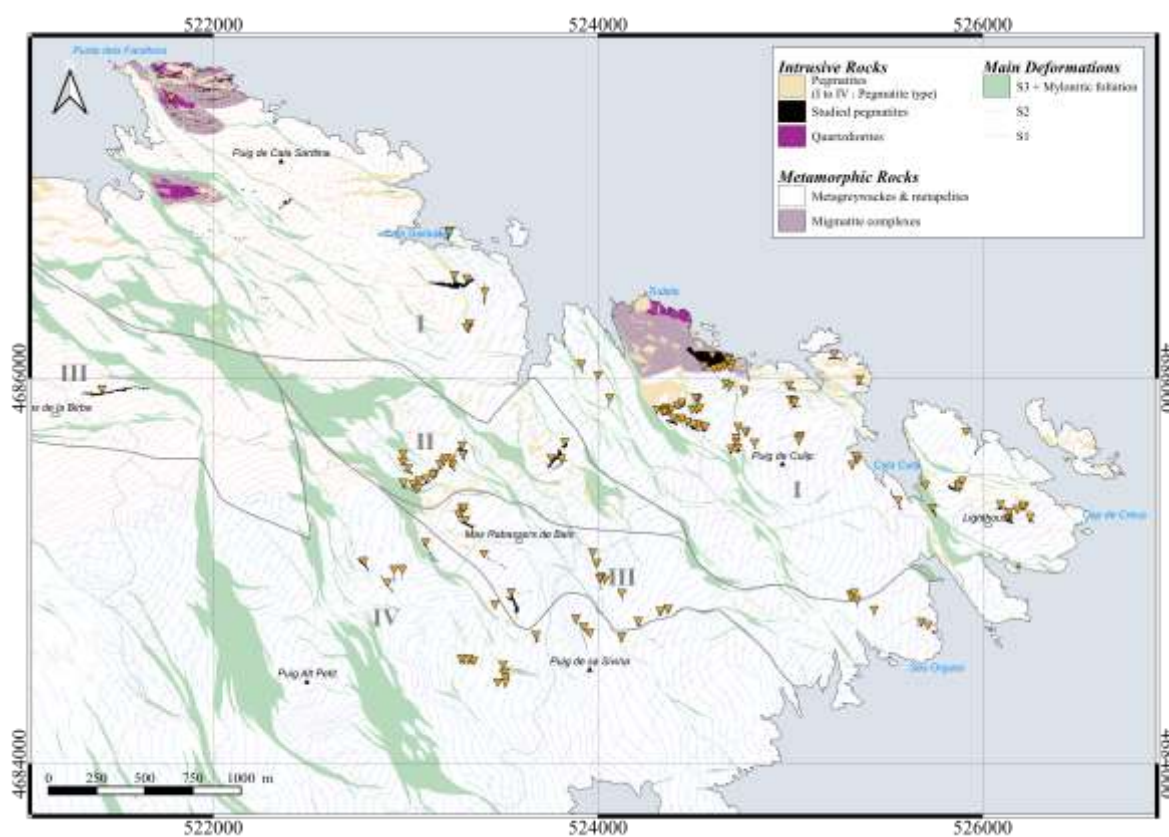


Fig. III-1 : Localisation des pegmatites étudiées (études structurales, microstructurales et géochimiques) au cours de cette thèse.

Tableau III-1 : Exemples non exhaustifs issus de la base de données de terrain des roches du Cap de Creus

Nom ech.	Lon	Lat	Objet	Typologie*	Relations structurales	Contact Peg / Enc	Puiss. (m)	Long. (m)	% Aplite	Ech O/N	Litage	Cœur Qz	Gt	Tm	Bio	Ms	Cor	Sill	Ph	Cl- Tn	Cas	Ox. Mn	Ox. Fe	
CDC001	524544	4685730	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	4,5	15	10	O	O	N	3	2	1	1								
CDC003	524521	4685741	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Diffus	- de 1	10	2,5	O	N	N	2	2		1	1							
CDC011	524382	4685819	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	3	0	N	N	N	2	2	2		1							
CDC019	524514	4685820	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2, repris par S3	Franc	1,5	11	0	O	N	N	3	1	2		1							
CDC020	524530	4685825	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	1,5	6,5	0	O	O Aplitique aux épontes	N	3	1	2		1							
CDC028	524683	4686050	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	6	20	0	N	N	O	3	2	2	2	2							
CDC038	523927	4684691	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	Franc	0,5	23	2	O	N	N				3			3					
CDC044	524770	4685701	Migmatite							O			Minéralogie estimée sur échantillon microscopique											
CDC45	523311	4685245	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	Franc	1,5	90	20	O	N	O		2		3			1					
CDC055	523179	4685535	Pegmatite	II	Parallèle à S1	Franc	2	30	6	O	N	N				3						1		
CDC056	523199	4685552	Pegmatite	II	Parallèle à S1	Diffus	2,5	15	6	O	N	N				3						1		
CDC060a	523106	4685458	Veine de Qz	Micaschiste	Parallèle à S1		0,3	2		O				1										
CDC086a	524469	4686342	Diorite	Micaschiste						O			Minéralogie estimée sur échantillon microscopique											
CDC087	523928	4684701	Micaschiste							O			Minéralogie estimée sur échantillon microscopique											
CDC095	523230	4686745	Pegmatite	I-a	Parallèle à S1 ;Plissée par S2	Franc	0,2	5	0	O	O	N	2	3		3	1							
CDC112	524158	4686286	Migmatite							O			Minéralogie estimée sur échantillon microscopique											
CDC114	521787	4687436	Leucogranite							O			Minéralogie estimée sur échantillon microscopique											
CDC115	521781	4687430	Granodiorite							O			Minéralogie estimée sur échantillon microscopique											
CDC118	525020	4685864	Veine de Qz	Micaschiste	Parallèle à S2 ; Sécant S1		0,1	10		O					1	1	1	1						
CDC122	525053	4685554	Veine de Qz	Micaschiste	Sécant S1 & S2					O			1											

* Typologie établie durant cette thèse. n.d : non définie (uniquement pour les pegmatites de types I)

Longitude et latitude en WGS 84 UTM 31

Abondance minéralogique relative : 1 = peu abondant, 2 = moyennement abondant, 3 = très abondant

Liste des abréviations minéralogiques p 251

Tableau III-2 : Exemples non exhaustifs de données structurales des roches du Cap de Creus.

n°	Type	Pegmatite category	Relative chrono / D2	Intensity def. domain	Metamorphic zone	Dominant recrystallization mechanism*	Estimation of T (°C) of deformation (Microstructures)	EBSD T (°C)	A _G peg vs S _m	Orientation	S1	S2	S3	L2	L3
CDC001	I-b	Undeformed-layered	Late	LSD	Sil-Ms	GBM	> 500	Texture not id.	n.d.	N40	N15 75W (Sm)	N45 77NW	n.d.	n.d.	n.d.
CDC029	I-b	Deformed-boudinaged	Undefined	HSD	Migmatite	GBM	> 500	500 to 650	10	N60 80NW	n.d.	N60 70NW (Sm)	n.d.	n.d.	n.d.
CDC064	II	Sheared by D3	Sheared by D3	LSD	Sil-Ms	SGR	400 to 500	400 to 500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	N130 40NE	n.d.	n.d.
CDC067	III	Sheared by D3	Sheared by D3	LSD	Cor-And	SGR	400 to 500	400 to 500	33	N150 60NE	N175 80W (Sm)	n.d.	N155 60NE	n.d.	n.d.
CDC080	IV	Sheared by D3	Sheared by D3	LSD	Cor-And	SGR	400 to 500	~ 400	n.d.	N175	n.d.	n.d.	N120 45NE	n.d.	n.d.
CDC088	II	Sheared by D3	Sheared by D3	LSD	Sil-Ms	SGR	400 to 500	400 to 500	n.d.	N120	N68 30NW	n.d.	N110 50NE	n.d.	N355 25
CDC095	I-a	Deformed-folded	Early	LSD	Sil-Ms	Transition BLG-SGR	400	400 to 500	5	N20 80W	N20 75W (Sm)	N117 80SW	n.d.	n.d.	n.d.
CDC111	II	Deformed-sheared	Early	LSD	Sil-Ms	SGR	400 to 500	400 to 500	14	N120 80SW	N05 85E (Sm)	N30 77SE	n.d.	n.d.	n.d.
CDC120	I-a	Deformed-folded	Early	LSD	Sil-Ms	SGR	400 to 500	400 to 500	20	N30 65W	N60 85NW (Sm)	N70 75NW	n.d.	n.d.	n.d.
CDC123	IV	Deformed-sheared	Early	LSD	Cor-And	SGR	400 to 500	> 650	66	N130 40SW	N170 60E (Sm)	N15 50E	n.d.	n.d.	n.d.
CDC135	IV	Deformed-sheared	Early	LSD	Cor-And	SGR	400 to 500	400 to 500	41	N175 25W	N20 37W (Sm)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CDC138	II	Deformed-sheared	Early	LSD	Cor-And	SGR	400 to 500	500 to 650	28	N130 75NE	N40 80NW (Sm)	N65 75 NW	n.d.	n.d.	n.d.
CDC139	II	Deformed-folded	Early	LSD	Sil-Ms	GBM	> 500	> 650	11	N20 80W	N35 80NW (Sm)	N70 85S	n.d.	n.d.	n.d.
CDC157	I-b	Undeformed-layered	Late	HSD	Migmatite	Dominant magmatic textures		Texture not id.	55	N80 15N *	n.d.	N90 70N (Sm)	N170 60E	n.d.	n.d.

LSD = Low Strain Domain, HSD = High Strain Domain

*BLG = Bulging ; SGR = Sub Grain Rotation ; GBM = Grain Boundary Migration

A_G = Angular Gap

S_m = Main Schistosity

Mesures d'orientation N0-180 0-90°N/S/E/W

Tableau III-3 : Exemples non exhaustifs de données minéralogiques (issus des observations en microscopie optique et électronique) des roches du Cap de Creus.

Nom	Objet	MINÉRAUX MAJEURS											MINÉRAUX ACCESSOIRES																														
													Phosphates					Spinelles				Oxydes				Sulfates					Divers												
		Qz	KFd	Pl	Px	Gt	Tm	Bio	Ms	Cor	Sill	Chi	Amp	Ap	F	Ap	Mnz	All	Xen	Sar	FerroW	Graft	Al,Sr, Ca,Fe	Pb/ Al	Sp	Gan	Cas	Cl- Tn	ilm	Ru	Hé	Ba	Py	Cu, Fe	Cd,Fe, Zn,Cu	Zr	Ur	Pyro	Bis	Or			
CDC001	Pegmatite	3	3	3		2	1	1		1			3			1										2		2		1													
CDC017	Pegmatite	2	3			1	1	1		1			3							1						1		1		1							1				1		
CDC029	Pegmatite	3	3			2			3				3			1																							1				
CDC044	Migmatite	3		1		1	1	3	1		1	1				3		1								1				1									3				
CDC045b	Pegmatite	2	2	3			2		1				2							2		1	1					1						1				1					
CDC056	Pegmatite												3															1											3	3			1
CDC060b	Pegmatite	3	1	3					1				3	3															1										1	1			
CDC086b	Diorite	3		3		1	3	1				2	1		3			1												3		1							1				
CDC087	Micaschiste														3		3													3									1				
CDC089	Pegmatite	3	1	3					2				3	3					1										1														
CDC104	Micaschiste	3		1			3	1							1	3		1													1	1							3				
CDC112	Migmatite														3		3															1								1			
CDC113	Pegmatite	3	2	2		2	2	2			2		2					1						1	1		1			1	1				1		2				1		
CDC120c	Pegmatite	3	1	2					3				3			1		1														1	1		1			1		1			

Abondance minéralogique relative : 1 = peu abondant, 2 = moyennement abondant, 3 = très abondant

Liste des abréviations minéralogiques p 251

Une majeure partie des roches étudiées -109 pegmatites, 3 micaschistes, 3 migmatites, 4 granodiorites, 5 veines de quartz, 1 leucogranite- ont été échantillonnées afin de procéder à divers observations microscopiques et analyses géochimiques. Afin d'éviter les effets de bords la totalité des échantillons de pegmatites, qu'ils soient destinés à des analyses structurales ou géochimiques, ont été prélevés dans les zones intermédiaires (1^{ère} ou 2^{ème} zone intermédiaire). Ainsi, pour les analyses microstructurales, 16 échantillons de pegmatites ont été préparés perpendiculairement à la foliation et parallèlement à la linéation (plan XZ) (Fig. III-2), et 67 échantillons -53 pegmatites, 14 roches encaissantes- ont été prélevés pour les analyses géochimiques, sans être nécessairement orientés spatialement.



Fig. III-2 : Echantillon d'une pegmatite (type IV) présentant une forte foliation (plan Z) accompagnée d'une linéation d'étirement (plan X). Taille de l'échantillon ~7 x 7 cm.

Partie 2. Méthodologie des observations microscopiques

1. Observations optiques et électroniques (MEB et Cathodoluminescence)

Plus de 67 lames minces ont été réalisées au cours de cette thèse. Afin de caractériser précisément la minéralogie des roches du Cap de Creus, la totalité de ces lames ont fait l'objet d'observations au microscope optique en lumière polarisée non analysée (LPNA), en lumière polarisée analysée (LPA) et en lumière réfléchi (Fig. III-3a et b). Egalement, un grand nombre d'entre elles ont fait l'objet d'analyses au microscope électronique à balayage (MEB) ainsi qu'au microscope à cathodoluminescence (à chaud). Ce dernier fonctionne sur le même principe que le MEB (bombardement de la surface de l'échantillon par un faisceau d'électrons) mais au lieu de récupérer les électrons secondaires émis par l'échantillon, ce microscope récupère les radiations lumineuses (photons). En fonction des défauts du réseau cristallin mais également des impuretés présentes dans le minéral (i.e. éléments traces), une longueur d'onde caractéristique en ressort (Fig. III-3c). Ces différentes méthodes d'observations permettent non seulement d'observer et de caractériser la minéralogie en minéraux accessoires (< 1%), mais également d'acquérir de nombreuses informations texturales (zonations des minéraux, zones de remplacements) sur ces minéraux. Ces observations, faites en autonomie au laboratoire de Géosciences Environnement de Toulouse (GET), ont permis d'identifier une grande variété de minéraux accessoires en plus ou moins forte abondance (Tableau III-3) dans l'ensemble des roches du Cap de Creus.

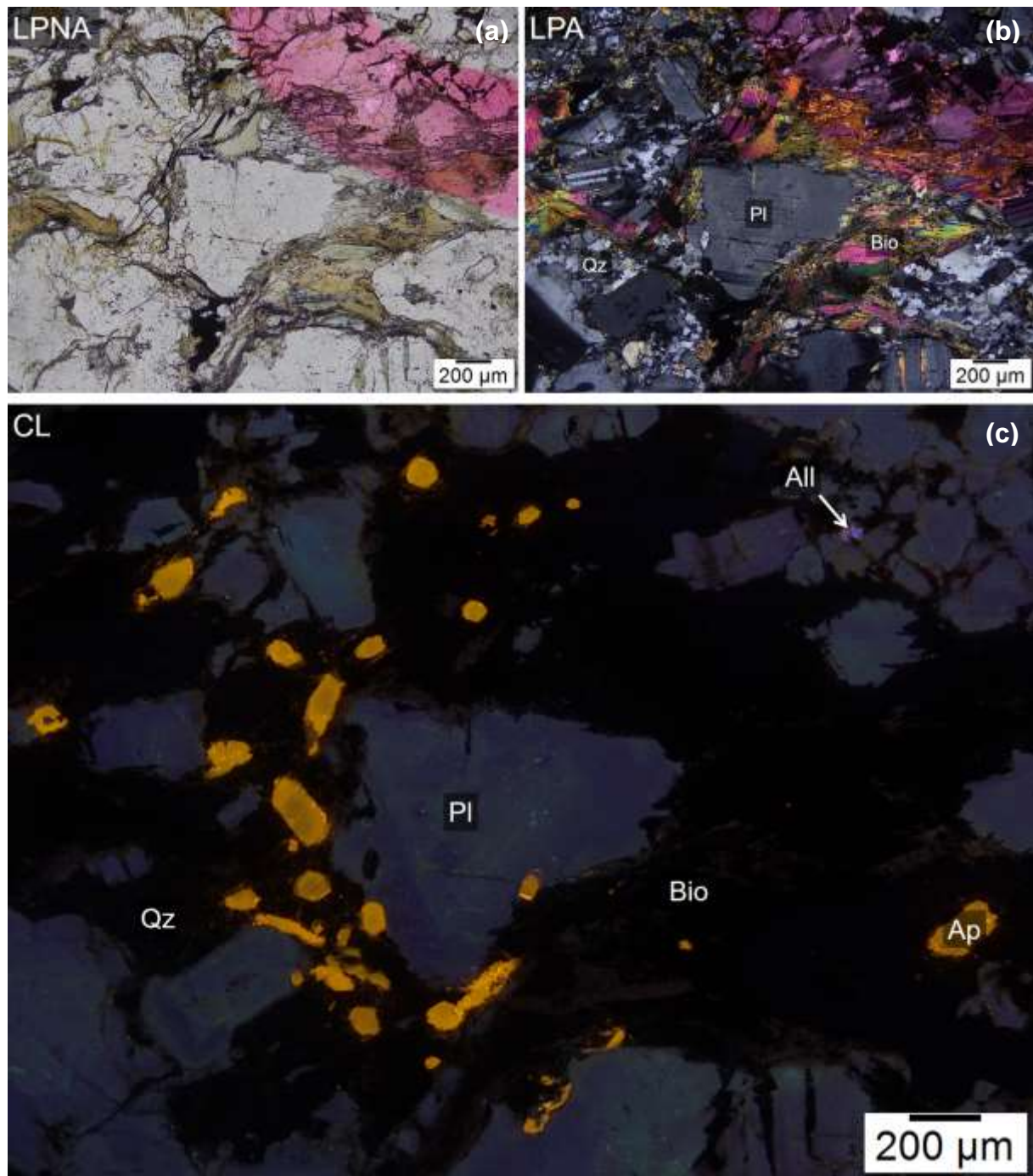


Fig. III-3 : Exemples d'observations (granodiorite de Tudela) au microscope a & b) optique en LPNA et LPA respectivement, et au c) microscope à cathodoluminescence.

2. EBSD : Méthode et limites

L'EBSD ou Electron Back-Scatter Diffraction est une méthode permettant d'obtenir des informations sur la nature cristallographique d'un échantillon naturel ou non. Cette technique, développée dans les années 1980, utilise un microscope électronique à balayage (MEB) afin

de fournir non seulement les orientations de tous les axes cristallographiques (qui peuvent être utilisés pour préparer des cartes à figures inversées et des figures de pôles (Fig. III-4a et b), mais génère également de nombreuses données statistiques sur la taille, la forme et l'orientation des grains. Toutes ces informations peuvent être utilisées pour l'analyse cinématique mais également pour l'estimation des températures lors de déformation(s) (Fig. III-4c).

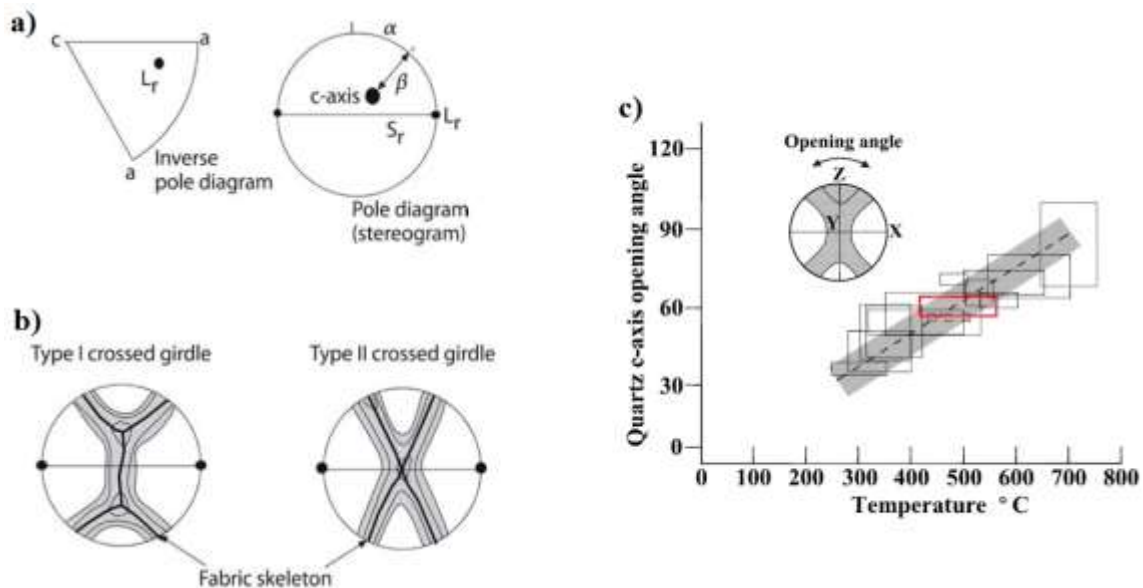


Fig. III-4 : a) Exemple de deux diagrammes couramment utilisés pour représenter les analyses des OPR (orientations préférentielles de réseaux). S_r correspond à la foliation et L_r correspond à la linéation. Sur le stéréogramme l'orientation de l'axe $\langle c \rangle$ est donnée par les angles α et β . b) Exemples de figures de pôles avec leur contour de densité des pôles des axes $\langle c \rangle$ du quartz. La forme des contours est mise en évidence par l'utilisation d'une « fabric skeleton » qui retrace les crêtes de densité maximale (d'après Passchier and Trouw, 2005). c) Exemple d'étude sur l'estimation des températures lors d'une déformation. Graphique montrant la relation entre l'angle d'ouverture des figures de pôles des axes $\langle c \rangle$ du quartz en fonction de la température de déformation (d'après Faghih and Soleimani, 2015).

En géologie, c'est par l'étude des textures du quartz (Orientation Préférentielle de Réseau), notamment par le biais des figures de pôles des axes c du quartz, que les investigations s'opèrent le plus souvent (Fig. III-4, 5 et 6). Cela permet d'interpréter la cinématique de déformation telle que les sens de cisaillement (Boullier and Bouchez, 1978; Kilian *et al.*, 2011; Fossen and Cavalcante, 2017), et le type de contrainte (Jessup *et al.*, 2007; Faghih and Soleimani, 2015), mais également les mécanismes de déformation et les systèmes de glissement impliqués (Menegon *et al.*, 2008; Kilian *et al.*, 2011; Hacker, 2013; Kilian and Heilbronner, 2017) ou des processus de recristallisation (Stipp *et al.*, 2002, 2006; Stipp, 2003; Heilbronner and Tullis, 2006; Stipp and Kunze, 2008), ou même pour estimer les températures syn cinématiques (Stipp *et al.*, 2002; Morgan and Law, 2004; Law, 2014; Faghih and Soleimani, 2015).

Au cours de cette thèse, 16 échantillons de pegmatites ont été analysés à l'EBS. Une fois les analyses faites, les directions des principaux axes du quartz (axes $\langle c \rangle$, $\langle m \rangle$ et $\langle a \rangle$) ont été projetées sur des stéréogrammes (hémisphère inférieur) appelées figure de pôles (Fig. III-4a et b, 5). Ces dernières sont présentées de manière standard avec la direction Y de la déformation finie verticale et les directions X et Z le long des axes EO et NS (Fig. III-5). Cela implique qu'une foliation et une linéation correspondantes sont présentées dans le stéréogramme sous la forme d'un plan vertical (f) et d'une ligne horizontale orientés E-W, cette dernière étant indiquée par des points (l). Selon le type de déformation mais également la température à laquelle celle-ci s'opère, les axes de chaque grain (représentés par un point) vont s'orienter préférentiellement, formant ainsi différentes figures de pôles caractéristiques (Fig. III-6). Généralement afin d'améliorer la lecture et la visibilité des maxima les axes sont regroupés au sein de contours selon leur densité. Cela permet notamment de créer une « fabric skeleton », un motif de lignes reliant les maxima des contours (Fig. III-4b, 6). L'interprétation des différents plans de glissements mis en jeu lors de la déformation (coaxiale ou non) se fait principalement sur les figures de pôles des axes $\langle c \rangle$, occasionnellement combinées avec les figures de pôles des axes $\langle a \rangle$.

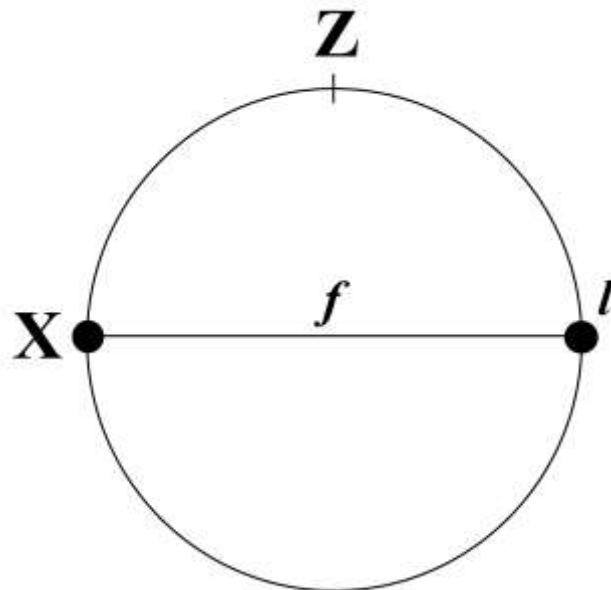


Fig. III-5 : Représentation standard des figures de pôles pour les différents axes ($\langle c \rangle$, $\langle a \rangle$ & $\langle m \rangle$) du quartz. f = foliation (représentée par un plan et donc une droite sur le stéréogramme), l = linéation (représentée par une droite horizontale et donc un point sur le stéréogramme). Directions X et Z le long des axes EO et NS respectivement.

En règle générale, dans le cas d'une déformation non coaxiale les motifs caractéristiques des figures de pôles des axes $\langle c \rangle$ évoluent des faibles températures aux fortes températures de déformation (Fig. III-6) (Passchier and Trouw, 2005). À basse température ($<400^{\circ}\text{C}$) les motifs « Type I et II crossed girdle » caractérisent une combinaison de plans de

glissement basal, rhomboédrique et prismatique selon la direction de l'axe $\langle a \rangle$ lors de la déformation. À moyenne température (400 à 500 °C) ces motifs ne montrent plus qu'une combinaison de plan de glissement prismatique et rhomboédrique selon la direction de l'axe $\langle a \rangle$, jusqu'à ne montrer qu'un seul plan de glissement dominant (500 à 650°C), le plan prismatique selon la direction de l'axe $\langle a \rangle$. À haute température (>650°C) les directions des axes $\langle c \rangle$ du quartz se parallélisent avec la direction d'étirement (direction X) mettant en évidence un plan de glissement dominant prismatique selon la direction de l'axe $\langle c \rangle$ lors de la déformation.

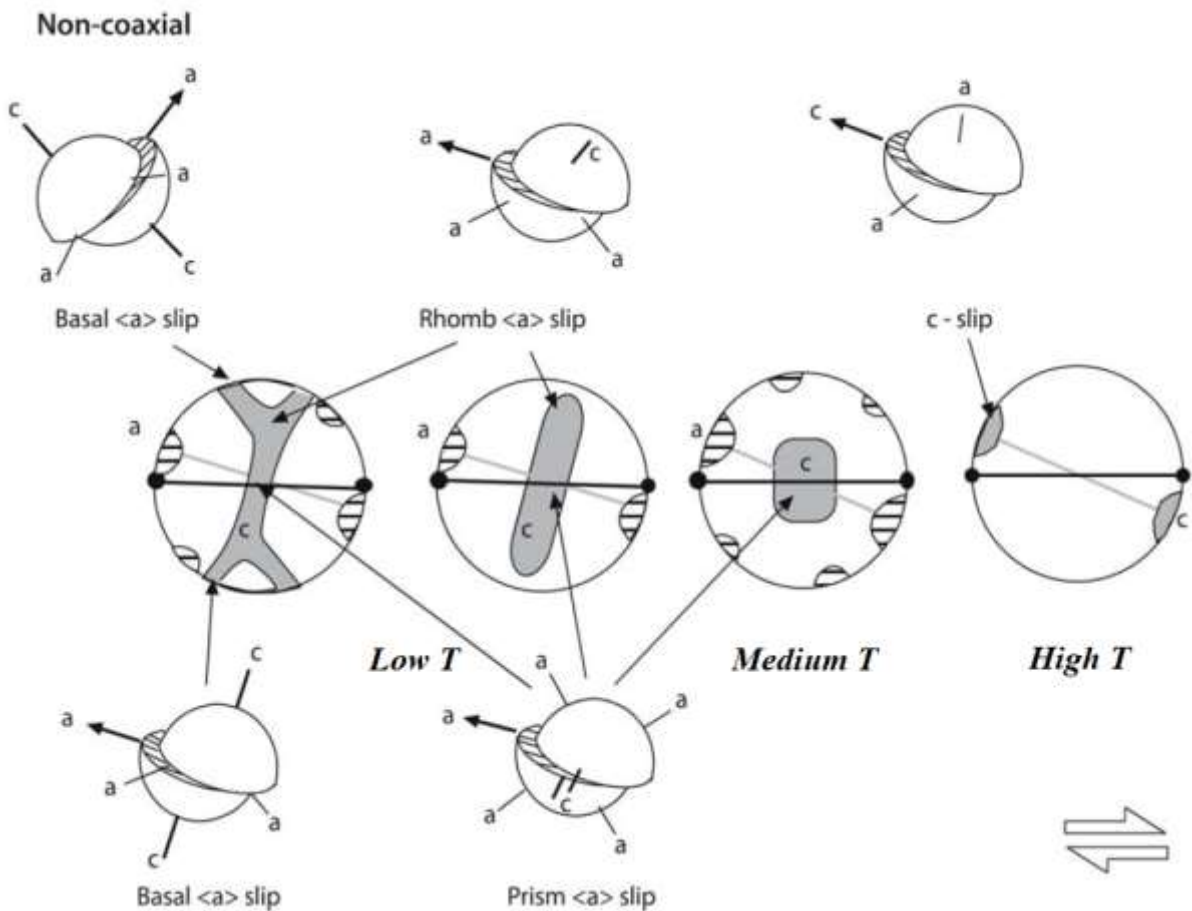


Fig. III-6 : Figures de pôles caractéristiques se développant lors d'une déformation progressive non coaxiale. Ces dernières sont accompagnées d'illustration montrant les différents plans de glissement mis en jeu (basal, rhomboédrique et prismatique) selon la direction de l'axe $\langle a \rangle$ pour des déformations de basse à moyenne température, et selon la direction de l'axe $\langle c \rangle$ pour des déformations de haute température (d'après Passchier et Trouw, 2005).

Avantages

- Très grande quantité d'informations acquises lors de l'analyse : directions de TOUS les axes cristallographiques, phases présentes, statistiques relatives aux grains (taille & surface des grains, angles d'Euler, déformation internes...)

- Le pas d'analyse peut être réduit à 20nm ce qui permet d'analyser des grains très fins de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres.
- Minimum de préparation d'échantillon : lame mince poli (/ plot) carboné de pratiquement toute taille.

Inconvénients

- Petite zone d'analyse (max quelques cm²) pour temps d'analyse assez long (>12 heures)
- Mécanismes et processus sous-jacents régulièrement mal compris amenant à des interprétations scientifiques sujet à discussion. Exemple : nature exacte de la relation entre la température et les mécanismes de recristallisation (Stipp *et al.*, 2002), rôles des fluides dans la déformation, ou encore relations entre les différentes géométries des figures de pôles et la déformation des matériaux polycristallins pas très bien compris.

Partie 3. Méthodologie des analyses géochimiques

1. Analyses Roche Totale

Du fait de la complexité des textures et des zonations minéralogiques des pegmatites très hétérogènes, seules les roches encaissantes (micaschiste migmatitique et non migmatitique et granodiorites) ont fait l'objet d'analyses roche totale. 9 échantillons de roches -4 granodiorites, 2 micaschistes, 2 migmatites et 1 leucogranite- ont fait l'objet d'analyses Roche Totale. Les différentes poudres ont été préparées au laboratoire du GET à Toulouse, puis envoyées pour analyses au Central Analytical Facilities (CAF) de Stellenbosch University, Afrique du Sud. Les éléments majeurs ont été obtenus par la méthode de fluorescence des rayons X (XRF), et les éléments traces ont été mesurés au laser couplé à un spectromètre de masse à plasma (LA-ICP-MS). 2 spots d'ablation d'une taille de 100 µm chacun et avec une énergie de 5,6 J et une fréquence de 10 Hz ont été utilisés à partir d'un laser Resonetics 193nm Excimer couplé à un ICP-MS Agilent 7700.

2. Analyses in-situ

La chimie des minéraux permet non seulement d'obtenir des indications sur l'évolution d'un système (magmatique, métamorphique), mais également elle permet de caractériser la nature et l'origine d'un événement, qu'il soit primaire (i.e. magmatisme) ou secondaire (i.e.

hydrothermalisme). C'est pourquoi, la géochimie des roches du Cap de Creus fut l'un des grands axes de ma thèse pendant lequel de nombreux minéraux ont fait l'objet d'analyses géochimiques in-situ en éléments majeurs, mais également en éléments mineurs et traces.

a. Microsonde

Les analyses en éléments majeurs ont été concentrées sur plusieurs espèces minérales, les micas (biotite et muscovite), le grenat, la tourmaline, les minéraux du groupe de la colombite (CGM) et l'apatite. Une grande partie des analyses ont été faites sur la muscovite pour deux raisons majeures : c'est un minéral omniprésent au Cap de Creus et c'est un très bon indicateur de l'évolution des systèmes magmatiques. Au total, plus de 1740 points d'analyses d'éléments majeurs sur environ 400 cristaux de muscovite ont été réalisés (43 pegmatites différentes). Egalement environ 25 biotites (143 points d'analyses), 10 grenats (236 points d'analyses), 15 tourmalines (202 points d'analyses), 40 CGM (119 points d'analyses) et 40 apatites (129 points d'analyses) ont été analysés. Les concentrations en éléments majeurs ont été obtenues sur une microsonde électronique CAMECA SXFive (EPMA), au Centre de Microcaractérisation Raimond Castaing de l'Université de Toulouse. Les conditions du faisceau au cours des analyses étaient d'une tension de fonctionnement de 15 kV pour un courant de 10 nA et un diamètre du faisceau de 2 µm pour tous les éléments. Plusieurs minéraux naturels ont été utilisés comme normes; albite (Na), périclase (Mg), corindon (Al), wollastonite (Si, Ca), sanidine (K), MnTiO₃ (Ti, Mn), hématite (Fe), topaze (F), baryte (Ba), Cr₂O₃ (Cr), de la graftedonite (P) et du verre d'aluminate de silicium avec Rb₂O et Cs₂O (Rb, Cs).

b. LA-ICPMS

Plus de 41 lames épaisses (~80 µm) -33 pegmatites et 8 roches encaissantes (Fig. III-7)- ont dû être réalisées pour effectuer un nombre important d'analyses in-situ en éléments traces. Tout comme les analyses microsondes, une grande partie de ces analyses ont été concentrées sur les muscovites des roches du Cap de Creus (460 points d'analyses), mais également d'autres minéraux tels que la biotite, le grenat, la tourmaline ou encore l'apatite ont été analysées. Ces analyses ont été faites à l'ablation laser couplée avec un spectromètre de masse à plasma (LA-ICP-MS) au laboratoire GET de Toulouse. Une taille de point d'ablation de 30 µm avec une énergie de 6 J et une fréquence de 10 Hz a été utilisée avec un laser nanoseconde NWR213 de New Wave Research couplé à un ICP-MS Thermo-Fisher Element-XR à haute résolution. Les NIST 610 et 612 ont été utilisés comme standards externes pour calibrer la machine et le traitement des données a été effectué sur le logiciel SILLS. En fonction du minéral analysé, différents standards internes,

préalablement mesurés à la microsonde électronique, ont été utilisés. Pour les micas (biotite et muscovite) c'est Al_2O_3 qui a été utilisé alors que pour l'apatite c'est P_2O_5 qui sert de standard interne. Pour l'ensemble des analyses réalisées, les limites de détection sont comprises entre 20 ppm (Li) et 1 ppm (Ta).

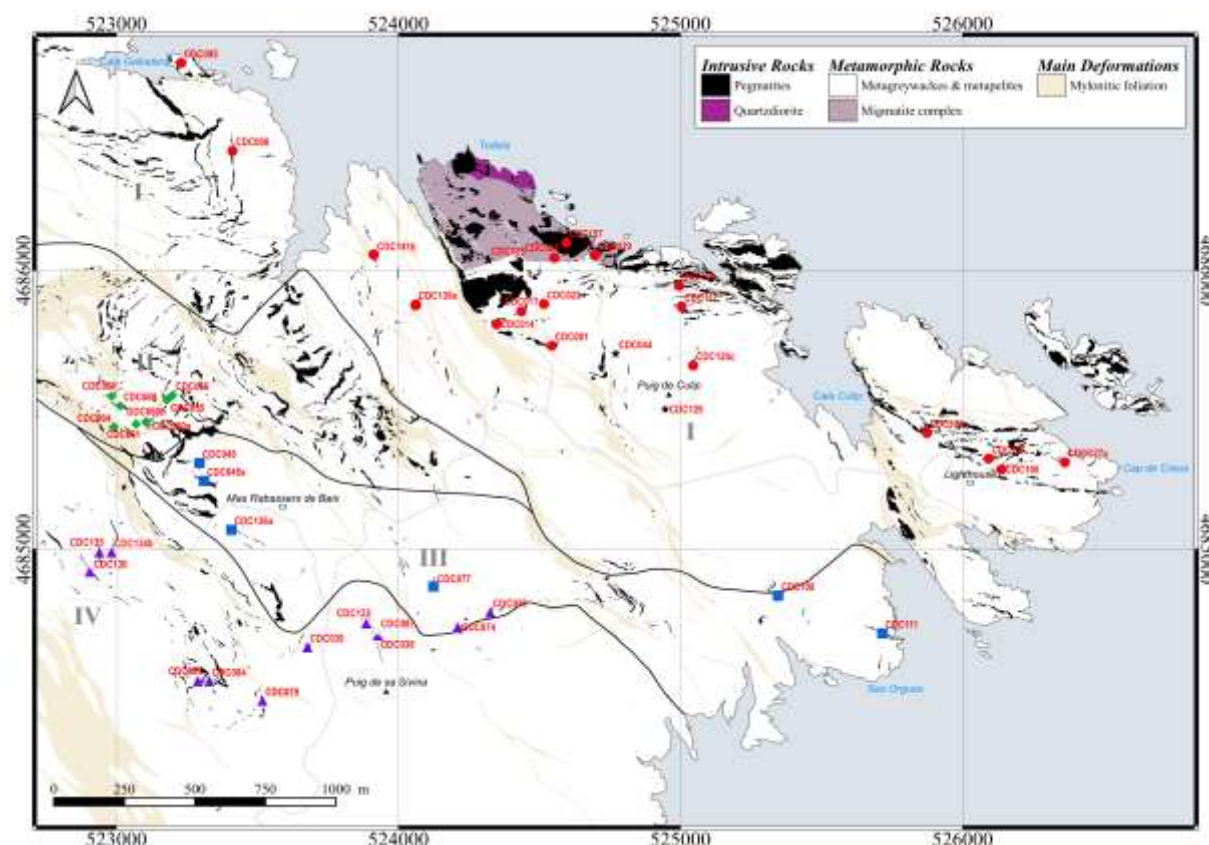


Fig. III-7 : Carte de localisation des pegmatites analysées au LA-ICPMS. Toutes ces pegmatites ont fait l'objet d'analyses in-situ sur muscovite, et lorsqu'il était possible, d'analyses in-situ sur biotite, grenat, tourmaline et apatite.

Partie 4. Observations et critiques sur les différentes analyses effectuées

Dans un esprit scientifique d'impartialité, il est important de s'interroger sur la qualité des analyses géochimiques effectuées au cours de cette thèse.

Les analyses à la microsonde électronique effectuées au Centre de Microcaractérisation Raimond Castaing se sont déroulées dans des conditions optimales, avec un personnel très compétent et soucieux de la qualité des analyses. Des contrôles réguliers sur les analyses, les interférences possibles et les dérives matricielles potentielles de la machine sont fréquemment effectués.

En ce qui concerne les analyses effectuées au LA-ICP-MS au laboratoire du GET à Toulouse, les résultats sont plus contrastés. Des contraintes environnementales (e.g. température de la salle un peu trop élevée en été) ainsi que techniques (e.g. panne du laser, alimentation en hélium défaillante) n'ont pas toujours favorisé des conditions optimales d'analyses. Egalement, les effets matriciels ainsi que les effets de contamination (par exemple le passage d'un échantillon à un autre, ou encore le passage d'une espèce minéralogique à une autre) ne sont que très rarement contrôlés. La figure III-8 représente deux spectres d'analyses de qualité moyenne (surtout pour l'apatite) obtenues lors des analyses LA-ICP-MS au GET de Toulouse. Donc, pour s'affranchir des analyses relativement mauvaises et de lisser le message, un grand nombre d'analyses a été effectuées afin d'avoir des résultats statistiquement contraints. De plus, des analyses sur une dizaine de lames ont été reproduites à la plate-forme AETE-ISO de Montpellier (Fig. III-9 & 10), donnant des résultats similaires aux données obtenues au GET de Toulouse.

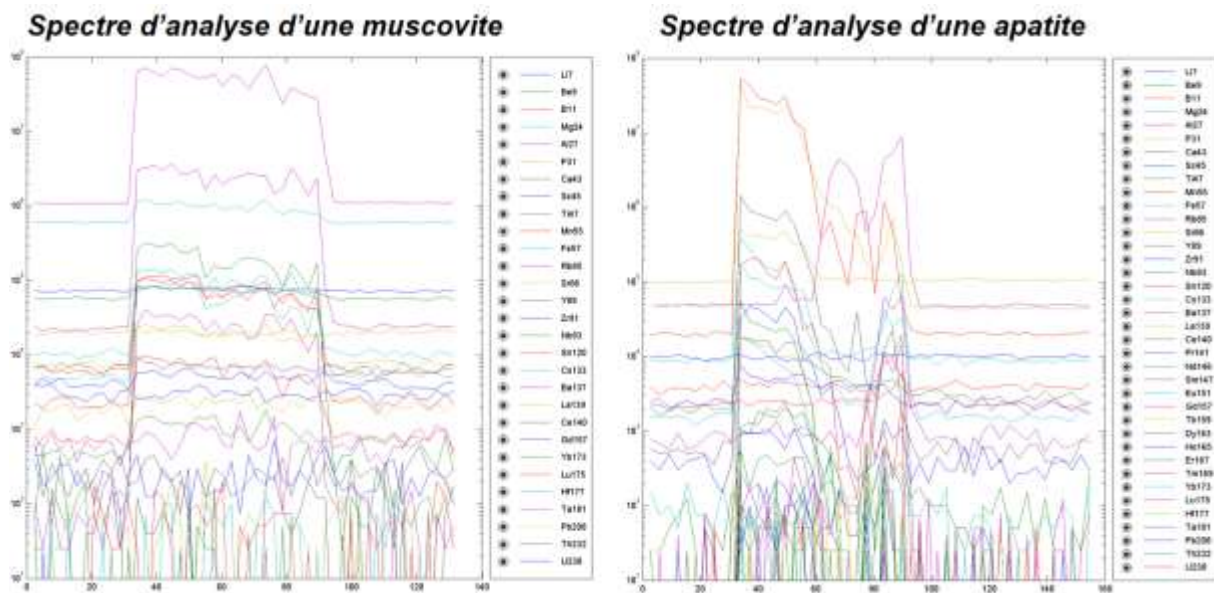


Fig. III-8 : Exemples d'analyses LA-ICP-MS obtenues sur plusieurs minéraux (muscovite et apatite) et traitées sous le logiciel SILLS montrant une qualité moyenne du signal (voir mauvaise pour l'apatite).

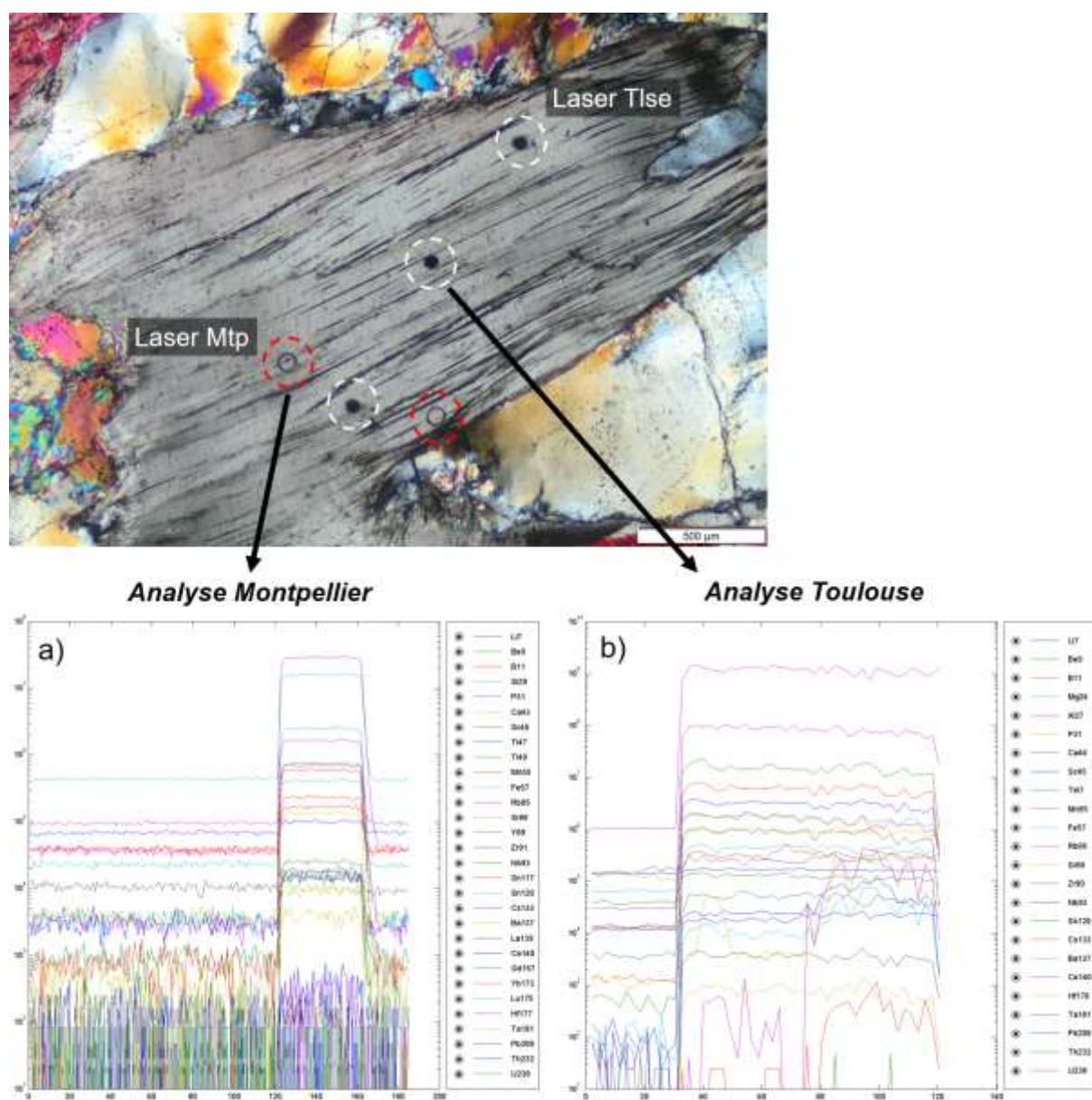


Fig. III-9 : Spectres d'analyses LA-ICP-MS sur une muscovite d'une pegmatite de type IV. a) Analyse réalisée au laboratoire de Montpellier. b) Analyse réalisée au GET de Toulouse.

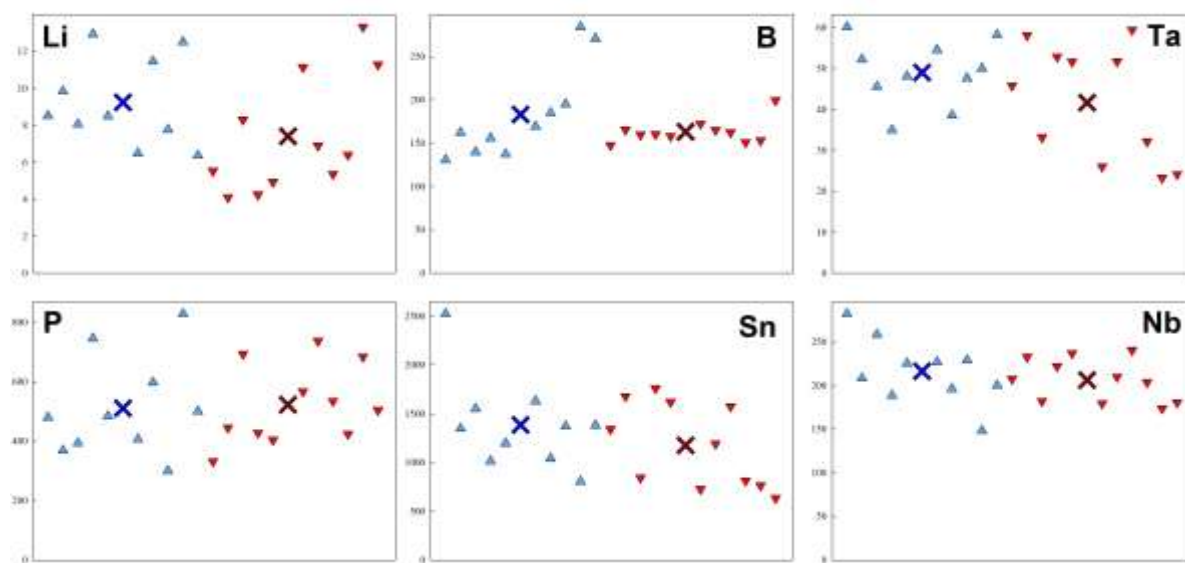


Fig. III-10 : Comparaison des résultats d'analyses LA-ICP-MS (en ppm) de Toulouse (en rouge) vs Montpellier (en bleu) obtenus sur les muscovites d'une même lame. Les croix représentent les moyennes des 10 points d'analyses pour Toulouse (bleu foncé) et Montpellier (rouge foncé).

IV. Chapitre IV : Les pegmatites du Cap de Creus : approche structurale et microstructurale

Partie 1. Introduction de l'article : données structurales, microstructurales & EBSD

Les pegmatites du Cap de Creus ont fait l'objet de plusieurs études structurales (Carreras and Druguet, 1994; Druguet *et al.*, 1997; Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Bons *et al.*, 2004). D'après les différentes relations structurales de terrain, Druguet (2001) a déterminé que les pegmatites du Cap de Creus d'origine tardi-Varisque se sont mises en place au cours de l'évènement de déformation D2. Cependant, aucune chronologie relative de mise en place n'a été établie à ce jour.

Un des premiers objectifs de ma thèse fut de caractériser les différentes relations structurales entre les pegmatites et leur encaissant, afin de voir s'il était possible d'établir un calendrier conceptuel de mise en place des pegmatites au cours de l'évènement de déformation régional D2. Pour ce faire, trois étapes ont été nécessaires : 1) l'élaboration d'une base de données structurale des pegmatites mais également des structures caractéristiques au sein des roches encaissantes (foliation, plis, linéations...), afin de caractériser les différentes relations structurales pegmatites *versus* roche encaissante pouvant exister. 2) L'étude des microstructures des pegmatites et des roches encaissantes par l'observation en microscopie optique. 3) L'étude des textures du quartz dans les pegmatites par le biais d'analyses EBSD. Ces trois axes d'études devraient permettre non seulement d'établir une chronologie relative de mise en place, mais également de contraindre les températures dans le temps et l'espace, régnant lors des différents évènements de déformation Varisque (D2 et D3).

Les relations structurales de terrains et les structures internes des pegmatites (foliation, linéation) ont montré que les pegmatites pouvaient être classées en « familles structurales » : 1\ les pegmatites déformées par D3, 2\ les pegmatites déformées par D2, et 3\ les pegmatites non déformées. Bien que cette dernière famille semble non déformée macroscopiquement, la suite de l'étude montre que la totalité des pegmatites du Cap de Creus sauf exception (Pegmatites litées de Tudela) a été déformée à l'état solide. Au sein des pegmatites déformées par D2 (Fig. IV-1) on peut distinguer, i) des pegmatites plissées, ii) des pegmatites boudinées, et iii) des pegmatites cisailées. A part pour les pegmatites plissées, qui se rencontrent de manière dispersée sur la totalité du champ, les différentes familles de pegmatites se répartissent de manière préférentielle. Les pegmatites boudinées se localisent dans la zone à sillimanite-muscovite, les pegmatites cisailées se répartissent de la zone à sillimanite-muscovite à la zone à cordiérite-andalousite, et les pegmatites non déformées sont regroupées essentiellement dans les domaines de forte intensité de déformation D2. Pour faire un parallèle sur le classement des pegmatites établi il y a quelques années par Corbella i Cordomi and Melgarejo, (1993), s'appuyant sur une

classification géochimique, les pegmatites de types I sont un mélange de pegmatites déformées plissées ou boudinées et de pegmatites « non déformées », et les pegmatites de type II, III et IV sont des pegmatites déformées et cisailées avec quelques pegmatites déformées et plissées éparses.

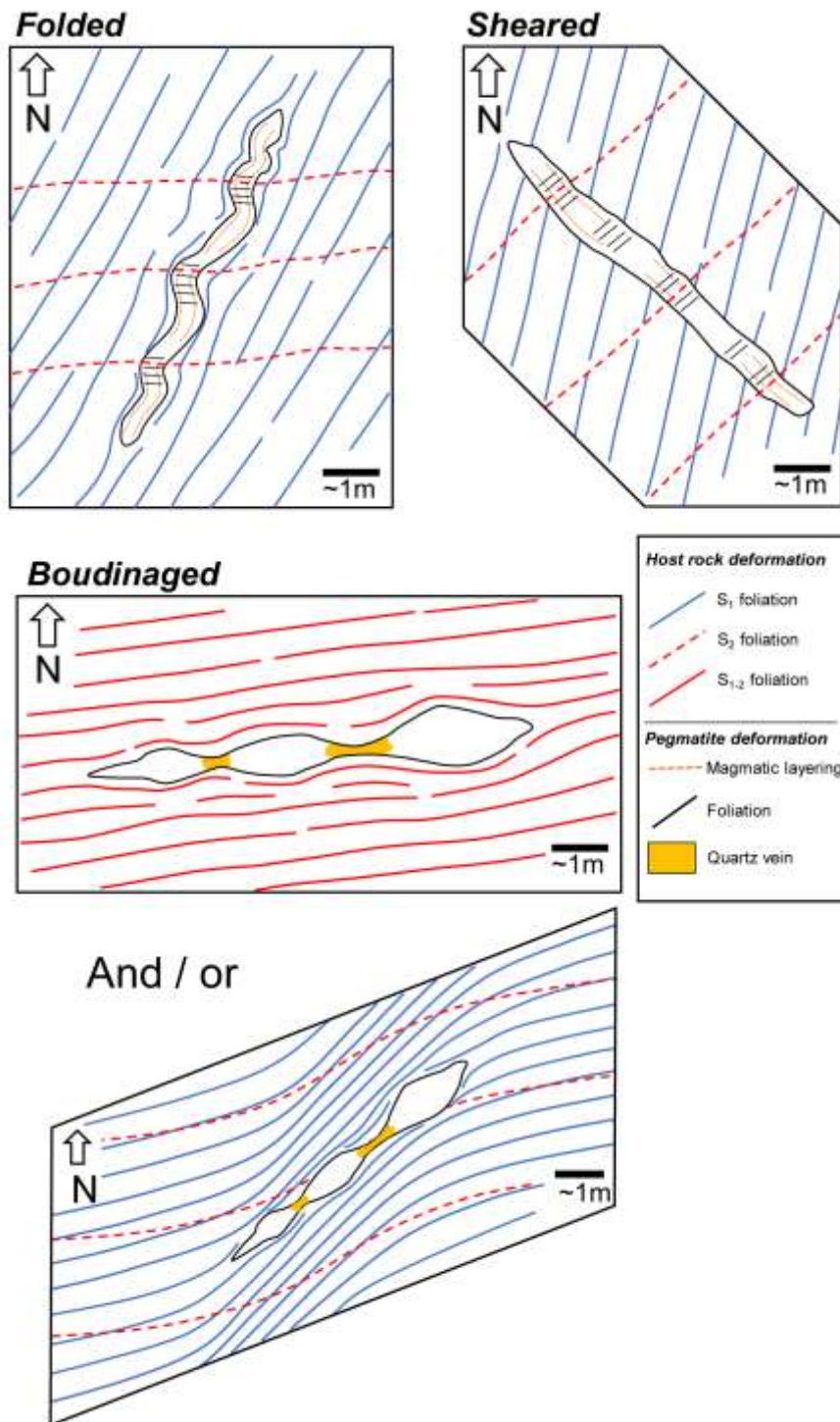


Figure IV-1 : Schémas des différentes familles structurales des pegmatites du CdC déformées macroscopiquement par D2.

Le point fort de cette étude fut l'apport des données microstructurales et texturales des pegmatites. Ces dernières m'ont permis d'obtenir des résultats majeurs sur les températures de déformation des pegmatites permettant d'élaborer une chronologie relative de mise en place. Egalement, ces données apportent des éléments de réponses sur les températures de l'encaissant au cours de la déformation, mais également sur le timing de cristallisation d'une pegmatite (déformation magmatique vs déformation à l'état solide). Les études combinées de microstructures et des textures du quartz (EBSD) dans les pegmatites déformées par D2 et celles déformées par D3 permettent de caractériser des températures maximales de déformation autour de 650°C (HT) et 550°C (MT) pour D2 et D3 respectivement. Plusieurs pegmatites plissées (i) mais également cisailées (iii) montrent un unique stade de déformation à HT. Tandis que les pegmatites boudinées (ii) sont caractérisées par deux stades de déformation à l'état solide, un à HT et l'autre à MT. Enfin, les pegmatites non déformées présentent uniquement des déformations de MT. Seules les grandes pegmatites litées de Tudela ne montrent pas de déformation (textures quasi-magmatiques). Ces résultats permettent d'en déduire que les pegmatites (i) et (iii) se sont mises en place avant (ou pendant) le pic métamorphique associé à D2, et que les pegmatites non déformées ont cristallisé nécessairement après l'évènement de HT. Il en ressort une chronologie relative de mise en place avec des pegmatites dites précoces, intermédiaires et tardives dans l'évènement de déformation D2.

Tous ces résultats m'ont permis d'élaborer un modèle de mise en place des pegmatites et d'aborder la question sur l'origine des pegmatites du Cap de Creus. Dans ce modèle non exhaustif, le début de l'évènement de déformation D2 est caractérisé par la mise en place d'un pluton granitique en profondeur, et nécessairement avant le pic métamorphique associé à D2. Ce pluton va produire une première génération de pegmatites qui va se mettre en place avant le pic métamorphique, et générer les pegmatites évoluées de type II, III, IV et une partie des pegmatites de type I actuelles, correspondant aux familles structurales (i) et (iii). Une fois le pic métamorphique atteint, l'anatexie des roches en profondeurs crée une zone de fusion partielle à l'origine de la deuxième génération de pegmatites. Ces pegmatites relativement peu évoluées chimiquement se mettent en place proche de leur source, au sein des zones de forte intensité de déformation (e.g. zones migmatitiques). Enfin, il est envisageable que l'accumulation de relativement grand volumes de magmas issu de la fusion partielle (pegmatites litées de Tudela) a permis à ces derniers de rester liquide jusqu'aux stades ultimes de la déformation, leur permettant de cristalliser sans contraintes apparentes.

Partie 2. Article : « Pegmatite emplacement and regional deformation : the Cap de Creus pegmatite fields »

Les résultats structuraux ont fait l'objet d'une publication scientifique présentée par la suite.

Pegmatite emplacement and regional deformation: the Cap de Creus pegmatite fields

Serrano¹, J., de Saint Blanquat¹, M.*, Van Lichtervelde¹, M., Vanderhaeghe¹, O., Druguet², E., Gumiaux³, Ch., Proietti⁴, A.

1: Géosciences Environnement Toulouse, Université de Toulouse, CNES, CNRS, IRD, UPS, (Toulouse), 14 avenue Edouard Belin, 31400, France.

2: Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona, Spain

3: Université d'Orléans, CNRS, ISTO, BRGM, UMR 7327, 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans, France.

4: Centre de microcaratérisation Raimond Castaing, Université de Toulouse, ECA, 3 rue Caroline Aigle, 31400 Toulouse, France.

Serrano, J. : julien.serrano@get.omp.eu

de Saint Blanquat, M.* : michel.desaintblanquat@get.omp.eu; GET, 14 avenue Edouard Belin, 31400, Toulouse, 33 5 61 33 26 16.

Van Lichtervelde, M. : marieke.vanlichtervelde@get.omp.eu

Vanderhaeghe, O. : olivier.vanderhaeghe@get.omp.eu

Druguet, E. : Elena.Druguet@uab.cat

Gumiaux, Ch. : charles.gumiaux@univ-orleans.fr

Proietti, A. : arnaud.proietti@ums-castaing.fr

Keywords

Pegmatites, Deformation, Tectonic and magmatism, Pyrenees, Cap de Creus, Variscan orogen.

Highlights

- the CdC pegmatites were emplaced from the beginning to the end of D2,
- the least evolved late-D2 pegmatites have a different origin than the evolved early-D2 ones,
- field relationships show a link between the migmatite leucosome and the late-D2 type I pegmatites,
- the CdC correspond to at least two superimposed pegmatite fields,
- these pegmatites fields have distinct origins and history, all within the frame of the D2 event.

Abstract

Pegmatites are the products of extreme magma differentiation that concentrates incompatible elements (rare metals, alkali and fluxes P, B, F, Li etc) either by low degree of partial melting ('first-drop') or by high degree of fractional crystallisation ('last-drop'). The relative chronology between deformation and emplacement of variously differentiated pegmatites might provide key elements in order to discuss these two models. The Cap de Creus area (CdC) is a strategic zone to investigate the origin of pegmatites, as it offers an exceptional outcrop quality and its well constrained geological context. The present study provides a structural, microstructural and EBSD investigation of the CdC pegmatites in relation with their respective evolution degree and structural context. We show that pegmatites were emplaced from the beginning to the end of the ~10 Ma long-lasting D2 event. The pegmatites which are the most deformed at solid state are located in the area of weak D2 and range from non-evolved to strongly evolved. The pegmatites which are undeformed at solid state are in the area with strong D2 and are the least evolved. None of the end-member models of pegmatite formation (granitic or anatectic) applies to all pegmatites of the CdC. The interpretation of the CdC pegmatites as a unique pegmatite field may be oversimplified and we have to consider at least two superimposed pegmatite fields, which could have distinct origins and history, all within the frame of the D2 event.

1. Introduction

Granitic pegmatites are the products of extreme liquid differentiation that concentrates incompatible elements (rare metals, alkali and fluxes P, B, F, Li etc) either by low degree of partial melting ('first-drop') or by high degree of fractional crystallisation ('last-drop'). First drop, or anatectic pegmatites, are the result of collection of magmas produced during partial melting of metasediments. Last drop, or granite-related pegmatites, are formed by injection of differentiated magmas from a granitic pluton.

The granite-related model was first developed by Cameron et al. (1949) and is currently supported by London (2008, 2018). It is based principally on geochemical data to explain the granite-pegmatite geochemical trends, and the regional geochemical zonation around some granitic plutons. The anatectic model developed in the 70's by Norton (1973) was established to explain the pegmatite fields without parental pluton, the disparity or the pegmatite clustering of some pegmatite types (different of the classical regional zonation), or the granite-pegmatite or pegmatite-pegmatite geochemical and / or temporal discontinuities. The main argument against an anatectic origin of rare-element pegmatites is that extremely low degrees of partial melting must be applied to reach the very high concentrations in volatile and incompatible elements measured in rare-element pegmatites (Cerny and Ercit, 2005; Cerny et al. 2005), and these low magma volumes are unlikely to migrate in the crust. However, other models involving volatile-rich metasedimentary sources were sporadically proposed (see Simmons and Webber 2008 and references therein).

In Europe, most pegmatite fields are observed in areas deformed during the late-Paleozoic Variscan orogeny. The lack of spatial correlation between pegmatites and nearby potential

parental granitic plutons of similar ages and the frequent association of pegmatites and migmatites in these domains questions the origin of the pegmatites from the extreme evolution of fertile granitic melts, and suggest an origin by partial melting (Roda Robles et al. 1999; Martins et al. 2012; Melleton et al. 2012; Deveaud et al. 2015; Barros and Menuge 2016; Shaw et al. 2016; Konzett et al. 2018). These conclusions are mostly based on geochemical and sometimes geochronological data, but none of these studies has investigated the structural position of the pegmatites and their relation with the contemporaneous regional deformation. The relative chronology between deformation and emplacement of variously differentiated pegmatites might provide key elements in order to discuss the “first-drop” and “last-drop” models.

Among the Variscan pegmatite fields, the Cap de Creus area represents a unique case study to investigate the relationship between pegmatite emplacement and deformation because of its exceptional outcrop quality and abundant literature about its structural record (Carreras et al., 1977; Carreras and Capellà, 1994; Carreras and Druguet, 1994; Druguet et al., 1997; Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Carreras, 2001; Bons et al., 2004; Druguet et al., 2009). The Cap de Creus pegmatites have mainly been studied from a petrological point of view (Alfonso et al., 1995, 2003; Alfonso and Melgarejo, 2000). Their origin – anatectic versus granitic – is still debated at the regional scale (Damm et al., 1992; Druguet et al., 1995; Druguet, 2001; Alfonso et al., 2003), and few studies focussed on the relationship between pegmatite formation / evolution / and emplacement and the regional tectonic evolution (Carreras and Druguet, 1994; Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Bons et al., 2004). The conclusion of the previous studies is that the pegmatite emplacement is synchronous with the D2 deformation event, and accompanied by high-grade metamorphism, partial melting and magma emplacement.

To unravel the question of the anatectic versus granitic origin of the CdC pegmatites, it is necessary to constrain the chronology of their emplacement relative to deformation. Absolute geochronological data on pegmatite points to crystallization dated by U/Pb on primary and secondary zircon between 296.2 ± 2.5 and 301.9 ± 3.8 Ma for two pegmatites of type I and type III respectively, and a late post-solidus hydrothermal remobilization dated around 292 Ma by U/Pb on xenotime (Van Lichtenvelde et al., 2017). These data indicate that the resolution of geochronological data is not sufficient to firmly distinguish pegmatite emplacement and consolidation times occurring in less than one million years as proposed by London (2008). This limitation might be overcome by a detailed structural analysis integrating the position of pegmatites in their regional context, which has proven to be a pertinent methodology (e.g. Vanderhaeghe, 1999; 2004). In the case of a granitic origin, the least evolved pegmatites will be emplaced prior to the most evolved ones (“last-drop”), and in the case of an anatectic origin, the most evolved pegmatites are the first to form (“first-drop”) and will be emplaced prior to the least evolved ones.

The present study investigates the relations between pegmatite emplacement and regional deformation based on a multi-method approach combining structural, microstructural and Lattice Preferred Orientation (LPO) characteristics of the different types of pegmatites exposed in Cap de Creus area. The quantified assessment of the solid-state fabric by Electron

Back-Scattered Diffraction (EBSD) allows to determine the conditions of deformation. In particular, we distinguish pegmatites with a magmatic fabric from pegmatites affected by high to low-temperature solid state deformation (SSD). This provide information on the history of the relation between temperature and deformation, and consequently on the evolution of the competence contrast between the pegmatitic magma and the host micaschist. This strategy allowed to refine the timing of emplacement of pegmatite in the frame of the D2 event, and to identify early, middle and late-D2 pegmatites. This has important consequences on the interpretation of the origin of the Cap de Creus pegmatites.

2. Geological context

2.1 Geology of the Cap de Creus

The Cap de Creus (CdC) is part of the Variscan basement of the Pyrenees, and is located in the so-called Axial Zone (AZ) (Carreras and Capellà, 1994; Druguet, 2001; Carreras and Druguet, 2014) (Fig. 1). In the Cap de Creus peninsula (NE Spain), a thick metasedimentary series (more than 2 km thick) is affected by three phases of deformation during the Variscan orogeny (Carreras and Druguet, 1994) (Fig. 1b). The metasediments are mainly composed of metagreywackes, metapelites and minor limestone, quartzite and plagioclase-amphibole rocks of Neoproterozoic to Ordovician age (Navidad and Carreras, 1995). The oldest visible deformation (D1) led to the development of a widespread first schistosity (S1), which formed prior to the LP-HT metamorphism. The D2 event is characterized by the folding of the S1 schistosity in prograde metamorphic conditions (growth of andalusite and sillimanite porphyroblasts on the S1 schistosity) corresponding to the development of a LP-HT regional metamorphism, with increasing grade from a chlorite-muscovite zone in the south to sillimanite-K-feldspar zone and anatexis in the north. The metamorphic peak in the highest grade area is estimated at 670 °C and 4.7 kbars (Druguet, 2001). Two domains are distinguished regarding the strain intensity associated with D2, a low strain domain in the south where the dominant schistosity is S1, and a high strain domain in the north where the dominant schistosity is S2. The metamorphic climax of the D2 phase is characterized by migmatite and by the intrusion of several types of felsic and intermediate plutonic rocks, mainly granodiorites, quartz diorites, and leucogranites. The Tudela quartz diorite was dated at 299 Ma by U/Pb on zircon (Druguet et al., 2014). The D2 deformation continued after the metamorphic peak, as suggested by folded leucosomes and deformed magmatic bodies. The general trend of structures attributed to D2 throughout the area might reflect either (i) progressive localization (the deformation in the high strain area is younger) or (ii) progressive widening (the deformation in the low strain area is younger). The late D3 deformation event leads to the development of a network of retrograde NW-SE shear zones with predominantly reverse-dextral shear sense, intersecting all D1 and D2 structures. The D3 event clearly post-date LP-HP metamorphism and all types of magmatism, including pegmatites.

2.2. The Cap de Creus pegmatite field

The CdC pegmatites are part of the peraluminous Lithium Cesium Tantalum class of Cerny

and Ercit (2005). Four types of pegmatites were identified by Corbella i Cordomi and Melgarejo (1993) according to various petrographical, mineralogical and textural criteria. Barren K-feldspar-rich pegmatites (Type I) are the most abundant and the least chemically evolved. Beryl-columbite-subtype pegmatites (Types II) show similar internal structure to type I pegmatites with more developed quartz cores, albitized zones and the presence of rare metal minerals. Beryl-columbite-phosphate-subtype pegmatites (Type III) are characterized by more complex internal structures and increasing contents of rare metal minerals. Albite-type pegmatites (Type IV) are phosphate- and rare-metal-bearing, are the most evolved and the least abundant pegmatites.

Alfonso et al. (2003) show that the various pegmatite types are organized in zones parallel to the metamorphic isograds, with types I and II in the migmatite, sillimanite-muscovite zone, and types III and IV in the cordierite-andalusite zone (Fig. 2). Based on mineralogical and geochemical parameters (e.g., K/Rb in Kfd, Alfonso et al., 2003), their differentiation degree shows a regional zonation with the least differentiated pegmatites (Type I) located in the northern high strain / high grade area and the most differentiated (Type IV) in the southern low strain / low grade area. Their abundance and relative size decrease from Type I to Type IV and from north to south. Consequently, Alfonso et al. (2003) suggested a granitic origin for type I to type IV pegmatites, with the parent granitic pluton being hidden further north underneath the Mediterranean Sea. Concomitantly, Druguet et al. (1995) proposed, in contrast, an anatectic origin of the pegmatites based on their spatial association with migmatite.

Pressure and temperature of pegmatite emplacement were estimated using the analysis of fluid inclusion (Alfonso et al., 2003, 2008). T estimates are from 520 to 640°C in all pegmatite types, with the highest temperatures for type I pegmatites. P estimates from fluid inclusions of pegmatites are between 3 and 3.8 kb in all pegmatite types, corresponding to a depth of emplacement of 9-11 km. Damm et al. (1992) have determined a similar crystallization temperature, around 600°C, by the oxygen isotope method but only on a type I pegmatite from the lighthouse area. A consequence of these estimations is that no major tilt has occurred since pegmatite crystallization, and that the present-day exposed structural level corresponds roughly to a paleo-horizontal. Temperature and pressure of some late quartz-muscovite veins, related to a secondary fluid circulation event, have been estimated around 400°C and 2 kb (Alfonso et al., 2008), suggesting that exhumation took place during and after pegmatite emplacement.

Previous structural works have highlighted the principal characteristics of the CdC pegmatite field (Carreras and Druguet, 1994; Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001; Bons et al., 2004; Druguet, 2019). They have shown that the CdC pegmatite field is subdivided in NW-SE trending zones, which are nearly parallel to the trend of the metamorphic isograd. It is formed by mainly sub-vertical cm veins to hectometric dykes up to 100 m wide and 200 m long, which are planar to irregular. Some sub-horizontal or gently dipping pegmatite dykes are also present, and these are often in textural continuity with vertical veins which seem to have acted as feeder dykes. Dykes are larger and more abundant in higher grade metamorphic zones, especially within migmatitic zones. The dykes display a very coarse grain texture with a

preferred orientation of crystals perpendicular to vein walls attributed to grain growth. Based on their position relative to the structures of the host rocks, the emplacement of pegmatites has been interpreted to occur between D1 and D3 deformation events (Druguet and Hutton, 1998; Druguet, 2001). Some pegmatites are folded, and the folds are coaxial with those in the country rocks but more open, indicating that some deformation occurred before pegmatite emplacement, and that it continued afterwards. In the migmatite zones, some pegmatite dykes are straight, undeformed and cross-cut the transposition foliation of the host rocks. The orientation of pegmatitic dykes sub-parallel to the axial surface of folds, i.e. more or less perpendicular to the syn-emplacement shortening direction, has been examined recently by Druguet (2019), who propose a model for the development of axial planar, low aspect ratio veins by fracture localization (pull-apart array or dilatant Riedel shears) in the short limbs of asymmetric folds during progressive folding, which is consistent with the results of analog models of Barraud et al. (2001). As an alternative, in partially molten rocks, segregation might occur by percolation during compaction of the solid matrix leading to the formation of leucosome veins perpendicular to the shortening direction (Vanderhaeghe, 1999; Weinberg and Mark, 2008).

3. Methodology

3.1. Is this pegmatite deformed or undeformed?

In order to understand the relationship between pegmatite emplacement and regional deformation, we have to determine if the pegmatite veins, dykes or lenses are deformed or not, and if deformed, how and when respective to their emplacement and crystallisation, i.e. early at magmatic state or later at solid state, or both, and this continuously or not. These informations have to be analysed according to the type (I to IV) and the tectono-metamorphic position (low or high strain domains; Cor-And, Sil-Ms or migmatitic zones) of each studied pegmatite.

The criteria which are necessary to identify a deformed pegmatite and to characterize its deformation are (i) the shape and orientation of the pegmatites, (ii) their structural position relative to the structure of the host rocks, and (iii) their internal texture and microstructure. These characteristics allow to determine the history of fabric development in the pegmatites from magmatic to solid state and its timing relative to deformation of the host rocks. These data also provide an information on the competency contrast between the pegmatites and their hosts that is dominantly controlled by the physical state pegmatite (magmatic or crystallized) and by the temperature of the host rock at the time of deformation.

The shape of pegmatites provides an information on how they accommodated deformation and on their competency contrast with the host rocks. If we reasonably postulate that pegmatites intrude as planar vein or dyke (continuous or not) (London, 2008; Bons et al., 2004), all non-planar pegmatites have to be considered as deformed, even if they are not deformed at solid-state. The reverse is however not true, since planar pegmatite might behave as passive markers that record homogeneous deformation without competency contrast with the host. The orientation of planar pegmatites with a magmatic fabric provides an information

on the orientation of the principles axes of the deformation at the time of emplacement. Pegmatites deformed at the solid state document the kinematic regime of deformation. The comparison of the orientations and shapes of pegmatites constrain their relative timing of emplacement and the evolution of the kinematic regime during the deformation history.

The structural position of the pegmatites relative to the structure of the host rocks places constraints on the relative timing between magma emplacement and regional deformation. It also provides additional information to reconstruct the principal axes of the strain ellipsoid and the kinematic regime at the time of emplacement and associated with subsequent deformation.

The internal texture of pegmatites documents the physical-chemical conditions of injection and crystallisation but also of the deformation during and/or after crystallisation. Microstructures of rock-forming pegmatites (typically quartz and feldspar) attest for the physical-chemical conditions of solid state deformation, but predominantly of temperature.

The combination of these three criteria will serve to evaluate the competence contrast between the pegmatite and its country rocks, to kinematically interpret the deformation, and to precise its history (Fig. 3). The repetition of this procedure on a representative set of pegmatite of all types and from north to south of the Cap de Creus area, will help us to compare their deformation history and to establish a relative chronology at the scale of the studied area.

3.2. Sampling and analytical methods

The spatial distribution, shape, size and orientation of the pegmatites of the entire Cap de Creus pegmatite field have been investigated with geostatistical methods (Deveaud et al., 2013) in order to check for potential trends at the regional scale using pegmatite types and their position relative to structures and isograds. This geostatistical analysis guided the choice for further field and microscopic analysis of 163 selected pegmatite bodies which are representative of the whole geometrical, petrological, and structural variability of the Cap de Creus pegmatite field (Fig. 1b). We report their major structural and textural characteristics like geometry, orientation, thickness, length, and internal structure. For each pegmatite, structural relationships with country rocks are established and quantified (i.e., secant or parallel to the main local schistosity), and the orientation of the different structural elements (different schistositities, different types of lineations, fold axis...) next to and away from each pegmatite were measured. Our field study led us to redefine the spatial repartition of the different types (Fig. 2). The main characteristics of the representative subset we have selected for the figures is presented in Table 1, and our whole structural dataset is presented in Table SM 1.

Representative samples of each pegmatite body and pegmatite type were selected for thin section preparation. Optical microstructures and lattice preferred orientations (LPOs) of quartz axis have been investigated on 14 structurally oriented thin sections. The microstructures can be subdivided into successive thermal steps if appropriate criteria are available (e.g. Gapais and Barbarin, 1986; Blumenfeld and Bouchez, 1988; Gapais, 1989;

Paterson et al., 1989; Bouchez et al., 1992; Miller and Paterson, 1994, Tribe and De'Lemos, 1996). In our study we have distinguished between microstructures associated with high ($> 500^{\circ}\text{C}$), medium ($400\text{-}500^{\circ}\text{C}$), and low ($< 400^{\circ}\text{C}$) temperature SSD, following the criteria presented in Stipp et al. (2002) and Paschier and Trouw (2005). Quartz axis LPOs on both deformed and recrystallized grains have been analysed by Electron Back-Scattered Diffraction (EBSD) system coupled with a Scanning Electron Microscopy (SEM) JEOL JSM 7100F at the Centre de Microcaractérisation Raimond Castaing of the University of Toulouse.

4. General characteristics

Three deformation phases were described in the Cap de Creus (CdC) area (Carreras and Druguet, 1994; Druguet, 2001), D1, D2 and D3, each one characterized by their main structural elements (schistosity, lineation, folds, shear-zones...). Field observations show that most CdC pegmatites are structurally associated to the S2 schistosity, and consequently post-date the D1 event. The youngest event, D3, affects all the structures and clearly postdates pegmatite emplacement. The intensity of the D2 deformation event is not homogeneous throughout the whole peninsula. The northern area is the most intensely deformed whereas the southern area is less deformed (Druguet 2001), and most pegmatites outcrop in the northern high strain domain (see below). The general characteristics of the CdC pegmatites are presented in figure SM1.

4.1. Spatial distribution

Pegmatites are not uniformly distributed over the CdC area (figure SM1). Most pegmatites outcrop in the northern high strain domain. Some areas show a high density of pegmatites forming irregular patches of $> 5\text{-}10$ individual pegmatitic bodies to E-W trending clusters crosscut by D3 shear-zones (Fig. 2). Within an individual patch or cluster, the pegmatites are often arranged in the form of strings of lenses or beads (Druguet and Hutton, 1998; Bons et al., 2004) of 10th to 20th individual aligned bodies of pegmatite with a length that might reach several hundred meters. The HSD contain the $2/3$ of the total surface occupied by pegmatites.

Type I pegmatites represent approximately three quarters of the total surface occupied by pegmatite at the CdC scale, and the type II, III and IV correspond the remaining quarter (77%; 16.5%, 4.5% and 2% respectively).

Simple (i.e. type I) and evolved (i.e. type II, III and IV) pegmatites do not have the same spatial distribution. Simple pegmatites tend to form clusters while evolved ones are more evenly distributed. Type I and II pegmatites are only found in the Sil-Ms and Sil-Kfd zones. Type III and IV pegmatites are localized within the Cor-And zones. This parallelism between the occurrence of the different pegmatite types and the metamorphic isograds suggests the existence of a relation between pegmatite emplacement and regional metamorphic history (Fig. 2) as already proposed by Alfonso et al (2003).

The LSD and HSD as defined by Carreras and Druguet (2006) both contain different types of pegmatite. The LSD the types I to IV, and the HSD the types I and III. Consequently, the relation between the type and the structural location of a pegmatite, is not straightforward. This is also expressed by the obliquity between the boundaries of high and low strains domains and metamorphic zonation (Fig. 2). But the limits of these different zones were shifted by the D3 shear-zones (Fig. 2), and their original orientation before D3 was probably more NE-SW, with a sub-parallelism between all limits (pegmatite, metamorphism and deformation).

4.2. Size and 3d shape

The analysis of the size and shape of individual pegmatite bodies (and not of strings of pegmatite), show that the pegmatite which are not deformed by the D3 event have a length that ranges from a few meters to ~ 420 m. Their thicknesses ranges from a few cm to 100 m. Type I pegmatites are on average longer (around 18 meters) than type II, III and IV pegmatites (12, 14 and 13 meters respectively) (Fig. SM1). The thickness of pegmatite bodies increases from type IV to type I. From type I to type IV, pegmatites show similar shape ratio with an average value ranging from 4 to 6. If 90% of pegmatites have a shape ratio less than 9, some show a very high shape ratio, up to 400, or even have an isotropic shape (shape ratio close to 1). The later correspond to outliers in geostatistical analyses and are represented by the sub-horizontal planar pegmatites which could be for example observed in the lighthouse area.

4.3. Orientation

The pegmatites which are deformed by D3 shear zones tend to be partly or totally transposed and are mainly NW-SE with variable dip toward the NE. The pegmatites which are not deformed by the D3 event show an E-W to NW-SE trend (averaged trend: N99°E, N116°E, N126°E and N148°E for type I to IV respectively), and this independently of their shape ratio (Fig. SM1). Field measurement of the orientation of the pegmatite dykes show that they are subvertical to steeply plunging in the HSD, and ... in the LSD (Fig SM1). The angle between the pegmatite dykes and the country rock main schistosity (S1 in the low strain and S2 in the high strain areas) is highly variable, even at local scale, from 0 to 90°. We observe more pegmatites parallel to the main schistosity in the high strain area, but counter examples exist.

4.4. Internal structure

The pegmatites of the CdC exhibit a textural and mineralogical layering, which is most often parallel to their walls. More pronounced in type I pegmatite, this layering is characterized by an aplitic marginal zone (Qz, Fds, Ms), a quartz core (not present in all pegmatites), and between them, successive intermediate zones, with the same mineralogy but with increasing grain sizes toward the core. We have observed this magmatic layering in all type of pegmatite, from type I to type IV, whatever their thickness. The origin of the layering is the rapid

crystallization from the walls to the core and is induced by an internal magmatic fractionation. In the largest pegmatites, for example in the Tudela area, the layering is repeated (Fig. 10a & b) and is parallel to S2.

5. Field relationships

We have subdivided the CdC pegmatites in deformed and undeformed pegmatites. Undeformed pegmatites constitute planar veins, dykes or lenses without internal SSD. We are aware that these pegmatites could have theoretically suffered a certain amount of strain at magmatic state without shape change. Deformed pegmatites constitute folded dykes or lenses with or without internal SSD, and planar dykes or lenses with internal SSD. As it is clear that the injection of pegmatites is related to the D2 event, and as our aim is to study the relation between the D2 regional event and the pegmatite formation and injection, we have to identify the pegmatites that may be considered to have been affected by D3 from field criteria, and consider it separately because their original syn-D2 structural record is strongly modified by the D3 deformation. We consequently present in the following three categories of pegmatites: deformed and undeformed pegmatites, both unaffected by the D3 event, and pegmatites deformed by D3 (whatever their previous history). Figures 4 to 8 show detailed maps and field and microstructural features of a selection of pegmatites representative of these three categories.

5.1. Pegmatites deformed by D3

Pegmatites deformed by D3 are easily identified in the field. When sheared at the margin or within D3 shear-zones, and depending of their original orientation, they show a more or less abrupt reorientation (Fig. SM2), intense isoclinal folding, strong thickness reduction and boudinage, and the development of orthogneissic, mylonitic to ultramylonitic textures. They often underline meter to decameter scale SC structures associated to anastomosed shear-zones. SC structures are characterized by a preferential alignment of micas and elongate and recrystallized quartz grains. Depending on their original thickness and on the shear intensity, they are more or less penetratively deformed. In the thickest lenses, only the margin is deformed, whereas they are homogeneous deformed when they are < 1m thick. In some area, especially in the south LSD, and despite the presence of shear-zones, the D3 deformation is be more diffuse and expressed by a discrete cleavage with decimetric spacing, which affect the pegmatite (Fig. SM3a) as all the other lithologies (Fig. SM3b).

5.2. Pegmatite deformed by D2

We have observed deformed types I to IV pegmatites both in HSD and LSD (Fig. 4, 5 and 6). Three types of deformed pegmatites were identified from field criteria, folded, boudinaged, and sheared pegmatites. In general, the thinner part of a pegmatite (< 1-2m) is more deformed than the thick part.

Sheared pegmatites present are planar or have a slightly curved 3d shape. They crop out only in the LSD (Fig. 4), and belong to the most evolved and mineralized group of pegmatite (types II, III and IV). They are systematically secant to S1 and S2 schistositys, and show a NW - SE trend, with variable plunge toward the NE or SW. These pegmatites are systematically deformed after their solidification, and show an internal foliation marked by elongated quartz, which is in general parallel to S2, although the foliation can be slightly refracted compared to the main S2 foliation in the micaschist. This pattern of deformation suggests a low competence contrast between the pegmatite and its wallrocks, and a coeval and relatively homogeneous deformation of the solidified pegmatite and its wallrocks.

Folded pegmatites (Fig. 5, SM4, SM5 and SM6) are present over the whole peninsula in small proportion. Their 3d shape is generally elongate and irregular. They present more or less open folds with axial planes parallel to S2. They are sub parallel to secant to S0-1 (Fig. 5) and secant at variable angle to S2. They often show an internal SSD, expressed by a foliation underlined by quartz elongation and micas alignment (Fig. 5b). Some of them mimic almost exactly the micaschist folding (Fig. SM4), suggesting that they have suffered the same amount of strain, and consequently were injected at the beginning of the folding event. This also suggests a low competence contrast between the pegmatite and the country-rocks. But most show a folded shape which is less pronounced than the folds in the surrounding micaschist (Fig. and SM4), suggesting that they were injected after the beginning of folding, once micaschists have already been deformed, but before the end of deformation. This also shows a pegmatite that is more competent than its wallrocks. Some pegmatites show a more complex folding, with some 'normal' folds with axial planes parallel to S2, but also other folds showing a deflection of S2 (Fig. SM6). This show a pegmatite injection once S2 was already formed, but before the end of D2, and/or a local deformation due to magma injection. All types of pegmatites (I to IV) could be folded.

The boudinaged pegmatites show evidence of syn- to post-magmatic stretching-induced boudinage (Fig. 6). The difference with the pseudo-boudinaged ones (Bons et al., 2004) is that the boudins are connected by pockets or veins of quartz (Fig. 6a), which shows a segregation of late magmatic fluids during a symmetric stretching parallel to the pegmatite elongation, which occur at the end of crystallization. In some places, the quartz could be plastically deformed (Fig. 6b). This shows a pegmatite that is stronger and more competent than its wallrocks. They are observed in and at proximity of the HSD, within and around migmatite zones, in Types I pegmatites. In the most deformed zone, these boudinaged pegmatites are parallel to the E-W S1-2 schistosity. They are sub vertical or have a plunge down to 60° toward the N - NW. Their thickness varies from less than one to several meters and their length up to a few tens of meters.

5.3. Undeformed pegmatites

In HSD, many pegmatites seem macroscopically undeformed, as they are planar and present no clear macroscopic evidence for internal SSD. Many of them show primary injection structure (Fig. 7), as exemplified by previous studies (Bons et al., 2004). This category

encompasses only Type I planar pegmatites up to 10-20 m thick and up to several hundred meters long, which are sub vertical and parallel to S2, as well as voluminous bodies such as the ones observed at Tudela (Fig. 8) with length up to a few hundred meters and thickness up to 100 meters. The latter are characterized by a rhythmic repeated magmatic layering (Fig. 8a) which is parallel to S2. Some piece of wallrocks, with structures of D2 deformation (S2, P2 folds), are stuck between successive layers (Fig. 8b), showing that each unit of the layering corresponds to one injection, and that these 100 m thick pegmatites are the result of the accumulation of numerous discrete injections which are between 0.5 and 1.5 meters thick each, and also showing that the injection occurred once D2 structures were already formed.

6. Microstructures

In order to check if a given pegmatite was deformed at solid state or not (i.e. after its full crystallization) and to constrain the history, temperature, and the intensity of the deformation, we conducted a detailed analysis of microstructures in thin sections. The studied samples were taken from pegmatite intermediate zones to avoid border effects. Classical criteria (grain size, grain shape, subgrain morphology, intracrystalline deformation and recrystallization, see Passchier and Trouw, 2005) have been used to identify deformation and recrystallization mechanisms in the different categories of pegmatites (see Methodology above). Typical microstructures are presented in figure 9.

6.1. Pegmatites deformed by D3

Typical orthogneissic, mylonitic and ultramylonitic microstructures are observed in these rocks, which are heterogeneously plastically deformed. The deformation is localized, with shear-zones and shear bands, giving S-C-C' relationship in appropriate lithologies. Quartz texture is marked by a combination of intracrystalline deformation (undulose extinction, subgrain formation and rotation), and recrystallization by subgrain rotation (SGR) (polygonization) (Fig. 9a and b). With increasing strain, the old grains are more elongated in the stretching direction, the amount of recrystallization increase, and the size of the recrystallized grains decrease (see Carreras et al., 1977). The latest phase of deformation produced elongated and deformed new grains along localized thin shears. Feldspars could be bent and are systematically fractured but not recrystallized (Fig. 4f). Micas are systematically kinked and partly recrystallized along foliation and shear planes. These classical textures correspond to a deformation which has started at medium or high temperature (relics of Qz and clasts of Fds with HT microstructures, chess-board pattern in Qz, flame-perthite in Fds), but has continued down to low temperature (below 400°C).

6.2. Pegmatites deformed by D2

Pegmatite identified as deformed by D2 only from field criteria, all present microstructures

showing intra-crystalline deformation and dynamic recrystallization mechanisms, showing that they were deformed maybe before at magmatic state but also after their solidification.

The sheared pegmatites that crop out in low D2 strain areas show extremely elongate quartz grains (tens of microns to several centimetres in size) forming ribbons (Fig. 9c & d). They show undulose extinctions and irregular shapes, and the volume proportion of recrystallized grains is medium. Rare equant quartz grains show a chessboard pattern showing the presence of relics of high temperature deformation ($> 500^{\circ}\text{C}$). Recrystallized grains are characterised by a small grain size ($< 40\ \mu\text{m}$) and elongate newly formed grains are often visible. All these structures formed by a dominant SGR recrystallization mechanism represent deformation at medium temperature (400 to 500°C).

The folded pegmatites could be classified in two groups from their microstructural characteristics:

i) Pegmatites deformed at medium temperature (Fig. 9e and f): slightly elongate quartz grains range from tens of microns to several centimetres. They are partially recrystallized with a strong size reduction ($< 40\ \mu\text{m}$) and show undulose extinctions and irregular shapes. The volume proportion of recrystallized grains is low to medium. In some pegmatites, small newly-formed grains are found along old grain boundaries and fractures forming core and mantle structures, typically developed at the transition between local grain boundary bulging (BLG) and SGR recrystallization mechanisms at medium temperature ($\sim 400^{\circ}\text{C}$) (see Stipp et al., 2002). Other pegmatites show quartz grains with the same characteristics as above (size, shape, undulose extinctions and volume proportion of recrystallized grains) but show a more important development of subgrains and new grains, around and inside old grains. New grains are polygonized and of uniform size ($\sim 40\text{--}60\ \mu\text{m}$) and present no internal deformation. These microstructures are formed by a dominant SGR recrystallization mechanism involving medium temperature deformations (400 to 500°C). Feldspars present medium temperature deformation microstructures like undulose extinctions and fractures. Large primary micas ($> 200\ \mu\text{m}$) are systematically kinked. Smaller secondary muscovite grains ($< 200\ \mu\text{m}$) are also kinked or occur in thin veins possibly associated to a late hydrothermal stage.

ii) Pegmatites deformed at high temperature: relatively large anhedral quartz grains ($>$ hundreds of microns) show undulose extinctions and interlobate boundaries (Fig. 9g and h) and sometimes present chessboard pattern. It is difficult to distinguish old from new recrystallized quartz grains and if the majority of recrystallized grains are large ($>$ hundreds of microns), a minority of recrystallized grains are small ($< 60\ \mu\text{m}$), polygonized in shape and occur at grain boundaries. These microstructures result from the combination of a dominant GBM and a minor SGR recrystallization mechanism, at relatively high temperature deformations ($> 500^{\circ}\text{C}$). Feldspars present medium temperature deformation microstructures like undulose extinctions and fractures, which rework higher temperature microstructures like bent cleavages and flame-perthite pattern (tapering ‘flame-shaped’ albite lamellae in K-feldspar). The deformation of micas is similar to those deformed at medium temperature.

Boudinaged pegmatites contain large and anhedral quartz grains (hundreds of microns to several centimetres) that show undulose extinctions and lobate subgrains (Fig. 9i and j).

Distinction between old and new grains is difficult but grain boundary mobility structures like “dragging” microstructures is often observed (Fig 8e). We also observe chessboard patterns in quartz grain, typical patterns only formed at high temperature deformations ($> 500^{\circ}\text{C}$). These microstructures are characteristic of a dominant grain boundary migration (GBM) recrystallization mechanism at high temperature deformations ($> 500^{\circ}\text{C}$). Very large feldspars (from several millimetres to decimetre in size) show undulose extinctions and flame-perthite pattern (tapering ‘flame-shaped’ albite lamellae in K-feldspar). They do not show recrystallized grains, constraining the temperature of deformation to medium-high (450 to 600°C). Micas (muscovite and biotite) range from some micrometres to several centimetres and are kinked and partially recrystallized in fine grains ($< 100\ \mu\text{m}$) around grain boundaries.

In the HSD, some pegmatites that are apparently undeformed from field criteria present in thin section evidences for SSD. Large equant quartz grains (up to several centimetres) show irregular shapes and boundaries, undulose extinctions and contain subgrains. New small quartz grains (up to $60\ \mu\text{m}$) are polygonized in shape without internal deformation. They totally replace or are present around old grains. The volume proportion of recrystallized quartz grains seems the lowest of the CdC pegmatites and suggests low ductile strain intensity. These microstructures are typically formed by intracrystalline deformation and SGR recrystallization mechanism at medium temperature deformations (400 to 500°C) (Fig. 9e and f).

6.3. Undeformed pegmatites

The most voluminous pegmatites (for example in Tudela zone) present at first order a magmatic texture (Fig. 9k and l). Quartz grains but also the other phases (feldspars, micas, garnet...) have euhedral to subhedral crystal shape and are undeformed and un-recrystallized. However in some cases, we observe the presence of a low intensity deformation at subsolidus condition, with the overall magmatic texture remaining unmodified. In this case, quartz grains show chessboard pattern, and micas are folded and present undulose extinctions. Others minerals like feldspars are not deformed. In some samples, we can observe rare and very thin cataclastic shear bands and thin veins of secondary muscovite grains ($< 200\ \mu\text{m}$) possibly associated D3 and/or to a late hydrothermal stage.

7. Textures

Analysis of the quartz c-axis fabrics is used to discuss the deformation conditions and mechanisms (ref.). Quartz c-axis fabric measurements were carried out on 14 pegmatites by EBSD. Lower hemisphere, equal-area pole figures were created and for each sample, c axes orientations were plotted in the rock fabric (XYZ) reference frame. Data are presented in figure 10a, and a compilation of fabric skeletons and/or orientation mode (areas of greatest orientation density) superimposing onto a single pole figure for $\langle c \rangle$ axes is presented in figure 10b.

7.1. Pegmatites deformed by D3

Quartz c-axis fabrics of one pegmatite deformed by D3 have an asymmetric pattern similar to

type I crossed-girdle. The others pegmatites deformed by D3 present asymmetric single-girdle patterns. These LPOs are asymmetric with respect to the foliation, and such patterns are typical for basal $\langle a \rangle$ slip, rhomb $\langle a \rangle$ slip and prism $\langle a \rangle$ slip, and correspond to a deformation at medium temperature (400 to 500 °C). The overall pattern is consistent with greenschist facies metamorphic conditions during non-coaxial deformation.

7.2. Pegmatites deformed by D2

Two sheared pegmatites show single-girdle c-axes patterns. One single-girdle is relatively complete (from periphery to center) with a $\langle c \rangle$ axes maxima between the Y direction and Z direction, and the other is incomplete with a $\langle c \rangle$ axes maxima near the Z direction. These LPOs correspond to deformation at medium temperature (400 to 500°C) with a dominant basal $\langle a \rangle$ slip and rhomb $\langle a \rangle$ slip, and a minor contribution of prism $\langle a \rangle$ slip. Another sheared pegmatite show a relatively spread $\langle c \rangle$ axes maxima around the stretching direction (X direction), corresponding to the activation of prism $\langle c \rangle$ slip system, which correspond to a deformation at high temperature ($> 650^\circ\text{C}$). The last sheared pegmatite show a quartz LPO pattern transitional between the single-girdle and the $\langle c \rangle$ slip pattern described above, corresponding to deformation at medium to high temperature (400 to 650 °C). However, these types of pegmatite (type IV and III respectively) are the most enriched in water and the temperature estimation is probably overestimated because of water activity; indeed, some authors estimate a dominant $\langle c \rangle$ slip LPO pattern at $\sim 550^\circ\text{C}$ in hydrated systems (Blumenfeld et al., 1986; Mainprice et al., 1986; Okudaira et al., 1995; Kruhl, 1996, 1998; Stipp et al., 2002a).

The folded pegmatites are characterized by weak or incomplete single-girdle patterns of quartz $\langle c \rangle$ axis. $\langle c \rangle$ axes maxima are around the Y direction. This pattern correspond to a deformation at medium temperature (400 to 500°C), with a dominant prism $\langle a \rangle$ slip. Quartz c-axis fabrics of one folded pegmatite show a concentration of $\langle c \rangle$ axis around the X direction due to the activation of the prism $\langle c \rangle$ slip system. This c-axis pattern, asymmetric with respect to the foliation, correspond to deformation at high temperature ($> 650^\circ\text{C}$).

In boudinaged pegmatite a transitional LPO pattern between a single-girdle and a $\langle c \rangle$ slip pattern (concentration of c-axes around the X direction) is present. This transitional LPO pattern have a more or less discontinues single-girdle parallel to the YZ plane, with $\langle c \rangle$ axes maxima around the Z direction and the X direction to a lesser extent. It correspond to deformation at medium to high temperature (400 to 650°C).

Pegmatites apparently undeformed from field criteria show a single-girdle c-axes pattern. This fabric show $\langle c \rangle$ axes maxima between the Y direction and the Z direction, corresponding to a dominant rhomb $\langle a \rangle$ slip with a minor contribution of basal $\langle a \rangle$ slip. This pattern characterise a deformation at medium temperature (400 to 500°C).

7.3. Undeformed pegmatites

The Tudela pegmatite (most voluminous pegmatites) yielded quartz pole figure with quasi-no

preferred orientation (a relative concentration of $\langle c \rangle$ axes between the Z direction and the X direction) or at least not identified slip mechanism. Quartz $\langle c \rangle$ axes are spread over the pole figure, which correspond to a low intensity of deformation at low temperature ($< 400^\circ\text{C}$) D3 ?

In synthesis (Fig. 10b), EBSD temperature estimations on quartz c-axes fabrics correlate with temperatures estimate with microstructure criteria : 1/ sheared pegmatites are deformed at medium temperature (400 to 550°C); 2/ folded pegmatites are deformed at medium (400 to 500°C) to high temperature ($> 650^\circ\text{C}$); 3/ boudinaged pegmatites are deformed at medium to high temperature (400 to 650°C); 4/ apparently undeformed pegmatites are deformed at medium temperature (400 to 500°C); 6/ and the most voluminous pegmatites show a low intensity deformation at low temperature ($< 400^\circ\text{C}$).

8. Discussion and Conclusion

Field observations allow us to investigate the relationships between pegmatite emplacement and the regional geological evolution. They show that the CdC pegmatites can be divided in three categories, pegmatites deformed by D2 and D3 (Fig. SM2, SM5), pegmatites deformed by D2 and not by D3 (Figs 4, 5, 6, SM4 and SM6), and pegmatites not deformed by D2 (Figs. 7 and 8) but possibly deformed by D3. On the other hand, microstructural and EBSD results allow us to investigate the temporal relationships between temperature and deformation within pegmatitic bodies, and consequently, their history of deformation. They show that pegmatites can be classified in four categories: 1/ pegmatites injected and solidified as apparently planar undeformed bodies, before being deformed at solid state; 2/ pegmatites deformed during (at magmatic state) and after (at solid-state) their injection; 3/ pegmatites deformed at magmatic state during and after their injection but before their crystallization and without significative SSD; 4/ undeformed pegmatites with no or only very low SSD.

The questions is now to correlate these different dataset, in the frame of the mineralogical classification, from the least to the most evolved pegmatites. The spatial distribution (i.e. the tectono-metamorphic location of each studied pegmatite) of all these different (field, microstructural and mineralogical) characteristics should also be examined in order to understand and integrate the general history at the regional scale.

First, it is necessary to examine the solidification time of a pegmatite. It is a critical data for the interpretation of their strain record. We will then examine the origin of the post-solidus deformation of pegmatites in the frame of the regional deformation history. This will allow us to interpret the different microstructural records we have observed in the pegmatites. We will then propose a general model of pegmatite emplacement and deformation, and discuss the consequences for the question of the origin(s) of the CdC pegmatite field(s).

8.1. Solidification time of pegmatites

The thermal history of an intrusive magmatic body and particularly the duration during which it remains at magmatic state, depends mainly of the volume of intruding magma and the difference between the wallrock temperature and the solidus temperature of the magma.

Liquidus and solidus temperatures of granitic pegmatites are estimated at 700-750°C and 550-650°C respectively (London, 2008; London, 2018). In the cap de Creus, the crystallization conditions of pegmatites was estimated at 520-640°C and 3-3.8 kb (Alfonso and Melgarejo, 2003; Damm et al., 1992). The pegmatite-forming melts must be undercooled by at least 100°C below their liquidus in order to form pegmatite textures (London 2008; 2018). Consequently, it is reasonable to estimate at 750°C the liquidus temperature of the CdC pegmatites, and at 650°C the temperature at which their crystallisation commenced. Once it begins, crystallization from undercooled pegmatitic melts is fast (crystal growth in the order of $10^{-8} - 10^{-9}$ m/s, e.g., Webber et al., 1999; Baker and Freda, 2001; Butler and Torvela, 2018).) Therefore, 10 cm feldspar crystals could grow in a few years or less.

The Variscan metamorphic conditions of the CdC area were investigated by Reches et al. (1996), Reches and Martinez (1996), and Druguet (2001). These authors found temperature between 450°C in the biotite zone to 670°C in the sillimanite zone and up to 700°C in the migmatite at the metamorphic thermal peak. The pressure is estimated at 4.5 kb for the metamorphic peak in the high grade area. With RSCM analysis, Lemirre (2018) found a temperature from 550° to more than 600°C (upper limit of the RSCM method) from south to north in the Cd-And and Sil-Mu zones. Previous studies have shown that the metamorphic peak was reached during the D2 deformation. The blastesis of andalousite postdates D1 and predate D2 deformations, which consequently begin after the beginning of the prograde metamorphism. Sillimanite and K-feldspar grew synkinematically during D2. Therefore, it is assumed that the higher grade the metamorphic zone the later was achieved the metamorphic climax (Druguet, 2001). But as migmatite leucosomes are folded and the associated magmatic rocks are foliated, D2 has to continue after the metamorphic peak. The available geochronological data on magmatic rocks from the Cap de Creus area suggest that D2 was active at least since 306 Ma (older age for a type III pegmatite; Van Lichtenvelde et al., 2017), and until 293 Ma (age of an hydrothermal event which affect a type I undeformed pegmatite, associated to a late D2 or D3 hydrothermal event ? Van Lichtenvelde et al., 2017), with a thermal peak around 299 Ma (age of the dioritic magma, which is synchronous of the partial melting, Druguet et al., 2014). The age of the D3 deformation, which is the youngest age for the end of D2, is not convincingly constrained by geochronological data, but field data strongly suggest that D3 was in continuity with D2 (see Druguet et al., 2018). All this suggest a duration in the order of 10-15 My for D2.

Given all the above, the difference between the solidus of the pegmatitic magma and the temperature of the country rocks was in the order of 50-100°C in the And-Cd zone, at least at the metamorphic peak. It was certainly larger before and after it. The Si-Ms and anatectic zones were at a temperature between 600 and 700°C at the thermal peak, that is close or even above the solidus temperature of the pegmatite. In this case, the magmatic lifetime of a pegmatitic body which was injected around the metamorphic peak, could be much longer, and its temperature should follow that of the country rocks. The thermal evolution of these

pegmatites follow the metamorphic evolution. It should be precised that a pegmatite loses most of its fluents (Cl, B, ... which allow to lower the solidus of the magma) in the wallrocks when crystallizing. An already crystallized pegmatite has a higher solidus temperature ($> 700^{\circ}\text{C}$). Consequently, a pegmatite which crystallized before the thermal peak will not be able to melt again at the thermal peak.

We have calculated the duration of solidification of pegmatite dykes of various thicknesses injected in wallrocks with temperature lower than the pegmatite solidus (640°C ; Alfonso and Melgarejo, 2003) (see Supplementary Material for methodology). We explored dyke thicknesses between 10 cm and 100 m and wallrocks temperature between 400 and 630°C . We found that solidification time is in the range of days to 30 000 years, even with low temperature contrasts (10°C) between the solidus of the magma and the host rock (Tab SM2). This confirms that the magmatic lifetime of pegmatites was in general (very) short, except for the pegmatites emplaced in the high grade metamorphic zone during anatexis.

8.2. Origin of the solid state deformation in pegmatites: D2 or D3?

One of our main finding is the observation of various types of SSD within pegmatites. Before proposing a general model, we have to carefully interpret the signification of these SSD, and particularly to temporally integrate them in the calendar of the regional deformation. Using field criteria (see above), we classified the pegmatites in two sets, deformed and undeformed by D3. But in fact, it may be difficult to ensure that a pegmatite is not affected by D3. A structural ambiguity may remain, especially in the south of the studied area where the structural expression of D3 could be more diffuse (see Fig. SM3). The following discussion is a critical analysis of our dataset to determine the relevant criteria that distinguish SSD induced by D2 or D3 within solidified pegmatites.

First, field structural observations generally give unambiguous criteria. For example, the CDC 123 pegmatite contains a foliation which is parallel to the surrounding S2 and highly oblique to the D3 shear-zones of the area (see Fig. 4). Its SSD is thus interpreted as due to D2. A similar conclusion is drawn for the numerous folded pegmatites with an axial planar foliation parallel to S2 in the wallrocks (see Figs. 5 and SM4). In some cases, it is possible to observe S2 and S3 in the same pegmatite (Fig. SM).

Second, the microstructural analysis from thin section and EBSD quantitative analysis give information about the deformation conditions of the pegmatites. These data are compared with the D2 and D3 deformation conditions in the wallrocks. In areas where pegmatites outcrop, i.e., in the andalousite and sillimanite zones, the metamorphic estimations show that the D2 deformation occurred at medium to high temperature (see above; $T > 450^{\circ}\text{C}$). All pegmatites identified as deformed by D2 from field criteria and which contain SSD are characterized by medium to high temperature microstructures, and by the absence of any low-temperature microstructure. In these pegmatites, the SSD is not very intense and relatively homogeneous. D3 shear zone formation occurred at low-grade metamorphic conditions (greenschist facies) and partial re-equilibration of minerals is commonly observed in the mylonites, with new growth of white mica, albite, epidote, chlorite and extensive

recrystallization of quartz (Carreras, 2001). Our data show that the pegmatites clearly deformed by D3 from field criteria contain medium to low-temperature microstructures. Moreover, the microstructure of a pegmatite deformed by D3 is very different from the one observed within a pegmatite deformed by D2 only. The deformation is more intense and heterogeneous with shear zones and shear bands, and the orientations of S3 foliation and L3 lineation are clearly different from those of S2 and L2. In many cases, we could identify relics of HT SSD, which could be attributed to D2.

To summarize, it is possible to distinguish the SSD footprint induced by D2 or D3 in a pegmatite of the CdC. The presence of low-temperature microstructures and the style of deformation is the main criteria to identify D3, but pegmatites deformed by D3 might preserve relics of high-temperature microstructures attributed to D2. Many pegmatites deformed by D2 after their solidification were not deformed by D3. Moreover, as D2 was penetrative at the scale of the studied area, we can infer that the pegmatites which present no or little SSD are D2-late (or located in an area where D2 stopped early), and the pegmatites which are clearly deformed at solid state are early or syn-D2. As the duration of pegmatite solidification is short compared to D2 duration, it can be concluded that pegmatite injection spread over a long time (~ several Ma), much longer than the crystallisation history of a standard granite.

8.3. Interpretation of the different microstructural records

The different microstructural records observed in the CdC pegmatites can be summarized and interpreted as follows. Although the amount and nature of deformation suffered by different pegmatites is not indicative of their chronology of emplacement, it may give indications on the relation between temperature and deformation during and after pegmatite emplacement. A thin pegmatite crystallizes more rapidly than a thick one, and they will have different strain records, albeit they were injected at the same time. The field relationships and the general geological evolution of the area allow proposing the following:

- pegmatites containing relics of sub-magmatic and high-temperature deformation, with a continuum toward medium-temperature SSD, can be considered as injected during the early stages of D2 and subsequently deformed by D2 during and after solidification. This is the case of the sheared and folded pegmatites.
- pegmatites characterized by high-temperature deformation microstructures and containing relics of sub-magmatic deformation were injected during D2 and deformed by D2 during and after solidification, but with the cessation of deformation before reaching medium temperature. This is the case of the boudinaged pegmatites, which are mainly parallel to S2.
- pegmatites containing mostly magmatic microstructures were certainly deformed at magmatic state only, before solidification, necessarily at the end of D2.
- pegmatites showing a continuum between medium- and low-temperature deformation, whatever the high-temperature record is, correspond to the pegmatites deformed by D3.

To sum up, the majority of CdC pegmatites show post solidus SSD, and only the most voluminous ones (for example in the Tudela zone) present only magmatic or sub-magmatic textures. The sheared, folded, and boudinaged pegmatites were deformed at high to medium temperature and suffered from a pronounced magmatic and/or solid-state deformation. Macroscopically undeformed pegmatites - excluding voluminous Tudela pegmatites - were very slightly deformed at medium temperature (400-500°C). Consequently, the pegmatites of the CdC do not have the same histories of deformation, and this is necessarily induced by episodic injections all along the D2 event.

8.4. Structural model : Relation between pegmatite injection and regional deformation

8.4.1. Early, middle, and late-D2 pegmatites

The first type of early pegmatites are straight and planar, sub-parallel or secant to S1, not folded, and contain a foliation which is parallel to S2 in the country rocks. We consider that they are early because their map and strain pattern imply a more or less static crystallisation without deformation, and after, a homogeneous deformation with their country rocks by shearing. The orientation of the structural elements indicate that this deformation is D2 and not D3. This pattern shows a low competence contrast with their country rocks (see Fig. 3), and imply an injection and solidification just before or at the onset of D2. Indeed, given their orientation clearly oblique to S2, a syn-magmatic folding, if present, should have been clearly visible, which is not the case. The other early D2 pegmatites are secant to S1, but only at very low angle, and are magmatically and/or plastically folded together with S1, with an axial plane parallel to S2 (Fig. 5). The folds could be tight or open (Fig. SM 4). They are layered and may host a solid-state foliation, especially in their thinnest part.

The youngest pegmatites are only found in the high grade zone. They are parallel or slightly secant to S2, and constitute all the stretched (boudinaged, Fig. 6) or flattened (pseudo-boudinaged, cf Bons et al., 2004) 'string of beads' – like pegmatites, which were mainly deformed magmatically. The boudinaged pegmatites are clearly associated to migmatites zones, where we frequently have observed a structural association at all scales between leucosomes, segregation veins and pegmatites (Fig. 11). The latest pegmatites are the undeformed and voluminous bodies emplaced in the high grade area of the north part of the CdC, especially in the Tudela area (Fig. 2).

Pegmatites emplaced in-between early and late ones are secant to S1 and S2, variously folded or stretched, and show various relationships with the D2 macrostructures. They are folded with an axial plane parallel to S2 and with or without a solid state foliation parallel to S2. The intensity of the folding and its comparison with the folding of the surrounding micaschist indicates at which stage of D2 they were injected. Some contain pieces of wallrocks with S2 and P2 folds, and are themselves penetratively deformed by S2, showing an emplacement after the formation of S2 but before the end of S2 activity (Fig. SM 5). These pegmatites could be considered as syn-D2 *sensu lato*, or middle-D2.

Pegmatites deformed by D3 shear zones show typical orthogneissic to ultramylonitic microstructures, not recorded in pegmatites deformed only by D2, and show a more localized

and a higher intensity of deformation. However, it must be mentioned that we observed in one place only a pegmatitic magma injected in a D3 shear zone, without clear evidence of strong solid state deformation in the pegmatite (Fig. SM4). This shows that the magma was injected at the beginning of D3, that is after D2. If true, this reinforces the close temporal link between D2 and D3, and consequently the interpretation of D3 as a late Variscan dextral wrench - dominated transpression under late orogenic retrograde conditions (Druguet et al., 2018). Figure 12 show our proposed model of evolution.

8.4.2. The spatial distribution of early, middle, and late-D2 pegmatites

At the scale of the studied area, our mapping shows that early-D2 pegmatites are located in Cd-And and Sill-Ms zones and in both HSD and LSD. The middle and late-D2 pegmatites are located only in the Sill-Ms zone, in HSD and in the transitional domain between HSD and LSD. This shows a narrowing with time of the intrusion zone toward the high-grade area, which could be related to an evolution or a change of the source domain.

At local scale, it is frequent to observe pegmatites of different relative ages at the same location. Figure 13 shows an outcrop with three pegmatites of different relative age, an early-D2 strongly folded vein, a middle-D2 boudinaged vein parallel to S2 and a late-D2 undeformed metric vein orthogonal to S2. Other outcrops frequently show sets of variously oriented and deformed veins, which often crosscut each other. This shows that early pegmatites may have been crosscut and reworked by subsequent injections. This is clearly visible in the northern HSD (lighthouse area). In other areas, pegmatites of different orientations and generations may crosscut each other, but their contacts are not frank. This is explained because early pegmatite dykes with a 650°C liquidus temperature may be remelted and reworked by later melts emplaced at higher temperature. In that case, their relative chronology is deduced from their shapes and their relations with the surrounding micaschists.

8.4.3. The orientation of pegmatitic dykes

To be injected as a dyke, a magma should have a pressure which exceed the tensile strength of the host rock

Most early-D2 pegmatites dykes are subparallel (but secant) to S1, and a minority are at high angles or perpendicular to S1. Similarly, the majority of middle and late-D2 pegmatites were emplaced in parallelism or at low angle to S2, and could be interpreted as ‘axial planar veins’ (Druguet, 2019), and a minority are at high angles or perpendicular to S2. This dichotomy between a majority of dyke emplaced in (sub)-parallelism with the main schistosity and a minority of dykes emplaced at high angle, up to 90°, is observable in fact from the beginning to the end of D2. At each stage of D2, the main schistosity was a plane of weakness and used as the principal preferential plane of injection, but not the only one.

Pegmatitic dykes can be interpreted in two ways, either extension or segregation veins. D2 is a wrench-dominated transpression with a ~ N-S shortening direction (Z), a vertical direction of extension (X), a flattening plane (XY) which rotate from NW-SE in the south and LSD to

E-W in the northern HSD, and a dextral wrench component in the horizontal plane (Carreras and Druguet, 1994; Druguet, 2001). In this kinematic frame, we would expect that if dykes are extensional veins, they should have been emplaced in parallelism with the instantaneous shortening axis and have consequently a more or less N-S orientation (NNW-SSE to NNE-SSW). Our data shows that this is the case at the beginning of D2, but not after. The sub-parallelism between middle and late-D2 pegmatites and S2 could be explained in different ways (see Druguet, 2019).

We can first consider that in such a transpressional context, the magma is overpressured and could open its pathway even in a plane which is perpendicular to the shortening axis. To do that, the magma pressure has to overcome the sum of the regional maximum principal stress and wallrock tensile strength. We observe this in many continental arcs, whose growth is contemporary to a combination of strike-slip and arc-normal contractional tectonism (see St Blanquat et al., 1998). In such a kinematic context, the combination of the pre-existence of a marked structural anisotropy (S2) and the magma overpressuring will induce the magma transfer in ~ E-W subvertical planes perpendicularly to the contemporaneous shortening. In this case, the late-D2 pegmatites could be interpreted as extensional veins which are perpendicular to the regional shortening direction. An enhancing factor could also be related to the contrast between the fast rate of magma transfer in the crust (on the order of cm/s) relative to tectonic rates (on the order of cm/yr), which could explain why the magma transfer is independent of – but not insensitive to – the tectonic setting (see St Blanquat et al., 2011).

Other ways to obtain pegmatites at high angle to the shortening direction are proposed in Druguet (2019). Among them, the transposition of initially oblique veins into parallelism with S2, and the fracture localization in the short limbs of asymmetric folds during progressive folding. In this last case, veins could initiate as dilation jogs along a stepped fracture, or as dilatant R-type shear.

Finally, we have also to examine the possibility that the late-D2 pegmatites, especially those located within the migmatites, are segregation veins generated by stress-driven ductile compaction of anatectic melt within a migmatite (see Weinberg et al., 2015). In this case, the melt corresponds to the weakest component of the rock that segregates preferentially by percolation during compaction of the solid matrix in planes parallel to the foliation and perpendicular to the shortening direction (Stevenson, 1990; Averkin et al., 1995).

The last thing to understand is the switch - or the contemporaneity - between pegmatite injection both in parallelism and at high angle to the main schistosity. Indeed, in a given outcrop, and even if they crosscut each other, it is impossible to precise if orthogonal pegmatites were emplaced at the same time or not (see above). In all cases, the variability of pegmatite initial orientation should be the expression of variation of the ratio between magma pressure (itself related to magma flux) and the regional tectonic stress. At a constant regional stress, a low magma pressure will allow emplacement preferentially in parallelism with the shortening axis, and a high magma pressure will allow emplacement perpendicular to it. Another possibility is a change in the stress pattern caused by the emplacement of magma, resulting in a low anisotropic state of stress, which could induce a switch between σ_1 and σ_3 , resulting in alternating orientation of dykes (e.g. Vignerresse et al., 1999; Vanderhaeghe,

2004).

8.4.4. The competence contrast between the pegmatite and their country rocks

The shapes of the CDC pegmatites suggest that they were mainly deformed with a greater competence than their surroundings (compare figures 4, 5, 6, 13, and SM6 with figure 3). No weak inclusion behaviour was observed. It may seem contradictory with the fact that many pegmatites have preserved apparently undeformed primary magmatic textures, which involves that they were largely molten during deformation. This paradox was addressed by Butler and Torvela (2018) who proposed a mechanism by which syn-tectonic pegmatitic melts may act as competent bodies while not yet fully crystallized. They suggest that the competence of the pegmatite was rapidly increased by the rapid crystallization of the intrusion margins, which will form a rigid margin that will encapsulate the residual melt. This process is in agreement with our observation in the CDC, in particular with the commonly observed relation between the thickness of a pegmatite and its internal structure. We have frequently observed that the thin part of a pegmatite was deformed and present internal foliation, while the thick part present margins with aligned feldspar crystals at high angle or oblique to the contact and an undeformed central part.

8.5. Final remarks and conclusion: the Cap de Creus pegmatite fields

Our new structural mapping shows that the LSD mainly contains deformed pegmatites, whereas the HSD contains deformed and undeformed pegmatites. The relations between the relative chronology of the pegmatites and their type (ie mineralogy, evolved or not) are as follow : early-D2 pegmatites belong to types I to IV, and middle and late-D2 pegmatites belong to type I only (Tab. SM1, Fig.2). In other words, the pegmatites which are the most deformed at solid state are located in the area of weak D2 (LSD) and can be evolved or non-evolved. The pegmatites which are undeformed at solid state are located in the area of strong D2 (HSD) and are the least evolved.

If all the pegmatites have a granitic origin (last drop model), the type I pegmatites should be the first produced – i.e. the oldest - because they are the least evolved. We have seen that the type I pegmatites range from early, middle to late-D2, but that most of them are located in the D2 HSD and are late-D2 and undeformed. Consequently, these last cannot have a granitic origin. On the other hand, our structural data show that the type IV pegmatites are the oldest. They could have been produced by the differentiation of the first anatectic melt (first drop model). In that model, type I pegmatites would be the youngest and least deformed. However, we have shown that type I pegmatites belong to different generations, early, middle and late-D2, and it remains to explain how pegmatites of the same differentiation degree were emplaced diachronously.

Therefore, it is clear that neither of the two model satisfactorily applies to *all* pegmatites of the CDC and we must envision that pegmatites of the CDC do not *all* have the same origin. What it is clear from our data is that : 1/ pegmatites were emplaced from the beginning to the

end of D2, that is, over a at least a 10 Ma duration, which is incompatible with the evolution by fractional crystallisation of a standard peraluminous granite; 2/ the least evolved late-D2 pegmatites necessarily have a different origin than the evolved early-D2 ones; 3/ in the anatectic area, field relationships show a clear link between the migmatite leucosome and the type I pegmatites at various scale (Fig. 13), a feature already noticed by Druguet and Hutton (1998) and Druguet (2001); 4/ the pegmatite classification is too rigid, and that some pegmatite type - the type I for example - should be divided in two or more sub groups of different origin. Consequently, the interpretation of the CDC pegmatites as corresponding to an unique pegmatite field is oversimplified and we have to consider that it is made of at least two superimposed pegmatite fields which could have distinct origins and history, all within the frame of the D2 event, which lasted around 10 Myrs. This will be addressed in a companion paper presenting the mineralogical and geochemical part of our work (Serrano, 2019; Serrano et al., submitted).

Acknowledgements

This article is part of the first author PhD thesis. We thank the ANR VARPEG (PI M. Pichavant) for financial support and active brainstorming. We want to first thank the colleagues who introduce us to the amazing Cap de Creus area, Jordi Carreras for the geology and the deformation, and Juan Carles Melgarejo for the pegmatites. We thank all the people with whom we discussed and who helped us in the field or in the lab during this work: Pura Alfonso, Bryan Cochelin, Hervé Diot, Muriel Gerbault, Eric Gloaguen, Baptiste Lemirre, Philippe Olivier, and Hervé Sider.

References

- Alfonso, P. and Melgarejo, J.C., 2000. Boron vs Phosphorus in granitic pegmatites: the Cap de Creus case (Catalonia, Spain). *Journal of the Czech Geological Society*, 45, 131–141.
- Alfonso, P., Melgarejo i Draper, J.-C. and Corbella i Cordomi, M., 1995. Nb-Ta-minerals from the cap de creus pegmatite field, eastern Pyrenees: distribution and geochemical trends. *Mineralogy and Petrology*, 55, 53–69.
- Alfonso, P., Melgarejo, J.C., Yusta, I. and Velasco, F., 2003. Geochemistry of feldspars and muscovite in granitic pegmatite from the Cap de Creus field, Catalonia, Spain. *The Canadian Mineralogist*, 41, 103–116.
- Alfonso, P., Melgarejo, J.C., 2008. Fluid evolution in the zoned rare-element pegmatite field at Cap de Creus, Catalonia, Spain. *Canadian Mineralogist*, 46, 597-617.
- Baker, D.R. and Freda, C., 2001. Eutectic crystallization in the undercooled Orthoclase-Quartz-H₂O system: experiments and simulations. *European Journal of Mineralogy*, 13, 453–466.

- Barrraud J., Gardien V., Allemand P. and Grandjean P., 2001. Analog Modelling of Melt Segregation and Migration During Deformation. *Phys. Chem. Earth(A)*, Vol.26, No. 4-5, pp. 317-323, 2001.
- Barros, R. and Menuge, J.F., 2016. The Origin of Spodumene Pegmatites Associated With the Leinster Granite In Southeast Ireland. *The Canadian Mineralogist*, 54, 847–862.
- Blumenfeld, P., and Bouchez, J.L., 1988, Shear criteria in granite and migmatite deformed in the magmatic and solid states: *Journal of Structural Geology*, v.10, p. 361-372.
- Blumenfeld, P., Mainprice, D., Bouchez, J.L., 1986. C-slip in quartz from subsolidus deformed granite. *Tectonophysics* 127, 97-115.
- Bons, P.D., Druguet, E., Hamann, I., Carreras, J. and Passchier, C.W., 2004. Apparent boudinage in dykes. *Journal of Structural Geology*, 26, 625–636.
- Bouchez, J.L., Delas, C., Gleizes, G., Nedelec, A., and Cuney, M., 1992, Submagmatic microfractures in granite: *Geology*, v. 20, p. 35-38.
- Butler, R.W.H. and Torvela, T., 2018. The competition between rates of deformation and solidification in syn-kinematic granitic intrusions: Resolving the pegmatite paradox. *Journal of Structural Geology*, 117, 1–13.
- Cameron, E., Jahns, R., McNair, A. and Page, L., 1949. Internal structure of granitic pegmatites. *Econ. Geol.*, Monograph 2.
- Carreras, J., 2001. Zooming on Northern Cap de Creus shear zones. *Journal of Structural Geology*, 23, 1457–1486.
- Carreras, J. and Capellà, I., 1994. Tectonic levels in the Palaeozoic basement of the Pyrenees: a review and a new interpretation. *Journal of Structural Geology*, 16, 1509–1524.
- Carreras, J. and Druguet, E., 1994. Structural zonation as a result of inhomogeneous non-coaxial deformation and its control on syntectonic intrusions: an example from the Cap de Creus area, eastern-Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 16, 1525–1534.
- Carreras, J. and Druguet, E., 2014. Framing the tectonic regime of the NE Iberian Variscan segment. *Geological Society, London, Special Publications*, 405, 249–264.
- Carreras, J., Estrada, A. and White, S., 1977. The effects of folding on the C-axis fabrics of a quartz mylonite. *Tectonophysics*, 39, 3–24.
- Černý, P., Blevin, P.L., Cuney, M. and London, D., 2005. Granite-related ore deposits. *Soc. Econ. Geol. 100th Anniversary*, 337–370.
- Cerny, P. and Ercit, T., 2005. *The_classification_of_granitic_pegmatites_revisite_2005.pdf*. *The Canadian Mineralogist*, 43, 2005–2026.
- Cerny, P., Blevin, P.L., Cuney, M. and London, D., 2005. Granite-related ore deposits. *Soc. Econ. Geol. 100th Anniversary*, 337–370.

- Corbella i Cordomi, M. and Melgarejo, J.C., 1993. Rare-element pegmatites of Cap de Creus peninsula, northeast Spain: a new field of the beryl-phosphate subtype. *periodical*, 295–302.
- Damm, K.-W., Harmon, R.S., Heppner, P.-M. and Dornsiepen, U., 1992. Stable isotope constraints on the origin of the Cabo de Creus garnet-tourmaline pegmatites, Massif des Alberes, Eastern Pyrenees, Spain. *Geological Journal*, 27, 75–86.
- Deveaud S., Gumiaux Ch., Gloaguen E., Branquet Y., 2013. Spatial statistical analysis applied to rare-element LCT-type pegmatite ields: an original approach to constrain faults–pegmatites–granites relationships. *Journal of Geosciences*, 58, 2013), 163–182 DOI: 10.3190/jgeosci.141.
- Deveaud, S., Millot, R. and Villaros, A., 2015. The genesis of LCT-type granitic pegmatites, as illustrated by lithium isotopes in micas. *Chemical Geology*, 411, 97–111.
- Druguet, E., 2001. Development of high thermal gradients by coeval transpression and magmatism during the Variscan orogeny: insights from the Cap de Creus (Eastern Pyrenees). *Tectonophysics*, 332, 275–293.
- Druguet, E., 2019. Deciphering the presence of axial-planar veins in tectonites. *Geoscience Frontiers*.
- Druguet E. and Hutton D.H., 1998. Syntectonic anatexis and magmatism in a mid-crustal transpressional shear zone: an example from the Hercynian rocks of the eastern Pyrenees. 12.
- Druguet, E. and Carreras, J., 2006. Analogue modelling of syntectonic leucosomes in migmatitic schists. *Journal of Structural Geology*, 28, 1734–1747.
- Druguet, E., Enrique, P. and Galán, G., 1995. Tipología de los granitoides y rocas asociadas del complejo migmatítico de la Punta dels Farallons (Cap de Creus, Pirineo Oriental). *Geogaceta*, 18, 199–202.
- Druguet, E., Passchier, C.W., Carreras, J., Victor, P. and den Brok, S., 1997. Analysis of a complex high-strain zone at Cap de Creus, Spain. *Tectonophysics*, 280, 31–45.
- Druguet, E., Alsop, G.I. and Carreras, J., 2009. Coeval brittle and ductile structures associated with extreme deformation partitioning in a multilayer sequence. *Journal of Structural Geology*, 31, 498–511.
- Druguet, E., Castro, A., Chichorro, M., Pereira, M.F. and FernáNdez, C., 2014. Zircon geochronology of intrusive rocks from Cap de Creus, Eastern Pyrenees. *Geological Magazine*, 151, 1095–1114.
- Druguet, E., Carreras, J. and Mezger, J.E., 2018. Discussion on ‘Middle Jurassic shear zones at Cap de Creus (eastern Pyrenees, Spain): a record of pre-drift extension of the Piemonte–Ligurian Ocean?’ *Journal of the Geological Society, London* , 174, 289–300. *Journal of the Geological Society*, 175, 187–188.

- Furlong, K.P., Hanson, R.B., Bowers, J.R., 1991. Modeling thermal regimes. *Reviews in mineralogy*, 26, 437-498.
- Gapais, D., 1989, Shear structures within deformed granitoids: mechanical and thermal indicators: *Geology*, v. 7, p. 144-147.
- Gapais, D., and Barbarin, B., 1986, Quartz fabric transition in a cooling syntectonic granite (Hermitage Massif, France): *Tectonophysics*, v. 125, p. 357-370.
- Gvirtzman, Z. and Garfunkel, Z., 1996. Numerical solutions for the one-dimensional heat conduction equation using a spreadsheet. *Computers et Geosciences*, 22, 1147-1158.
- Heilbronner, R., Tullis, J., 2006. Evolution of c-axis pole figures and grain size during dynamic recrystallization: results from experimentally sheared quartzite. *J. Geophys. Res.* 111, B10202, <http://dx.doi.org/10.1029/2005JB004194>.
- Jessup, M. J., Law, R. D., and Frassi, C. 2007. The rigid grain net (RGN): an alternative method for estimating mean kinematic vorticity number (W-m). *J. Struct. Geol.* 29:411–421.
- Kilian, R., R. Heilbronner, and H. Stunitz, (2011). Quartz microstructures and crystallographic preferred orientation: Which shear sense do they indicate?, *J. Struct. Geol.*, 33(10), 1446–1466, doi:10.1016/j.jsg.2011.08.005.
- Kilian R. and Heilbronner R., 2017. analysis of crystallographic preferred orientations of experimentally deformed Black Hills Quartzite. *Solid Earth* . 2017, Vol. 8 Issue 6, p1095-1117. 23p.
- Konzett, J, Schneider, T., Nedyalkova, L., Hauzenberger, C., Melcher, F., Gerdes, A., Whitehouse, M., 2018. Anatectic granitic pegmatites from the Eastern Alps: a case of variable rare-metal enrichment during high-grade regional metamorphism – I: mineral assemblages, geochemical characteristics, and emplacement ages. *The Canadian Mineralogist*, 56, 555-602.
- Kruhl, J.H., 1996. Prism- and basal-plane parallel subgrain boundaries in quartz: a microstructural geothermobarometer. *J. Metamorph. Geol.* 14, 581-589.
- Kruhl, J.H., 1998. Reply: prism- and basal-plane parallel subgrain boundaries in quartz: a microstructural geothermobarometer. *J. Metamorph. Geol.* 16, 142-146.
- Law R.D., 2014. Deformation thermometry based on quartz c-axis fabrics and recrystallization microstructures: A review. *Journal of Structural Geology* 66 (2014) 129-161.
- Lemirre B., 2018. Origine et développement de la thermicité dans les Pyrénées varisques, conséquences sur l'évolution du segment ouest-européen de l'orogène. PHD Thesis University of Toulouse, 288p.

- Lemirre B., Cochelin B., Duchene S., de Saint Blanquat M., Poujol M., 2019. Origin and duration of late orogenic magmatism in the foreland of the Variscan belt (Lesponne — Chiroulet — Neouvielle area, French Pyrenees). *Lithos*, 336–337 (2019) 183–201.
- London, D., 2008. Pegmatites. P. in.: *The canadian mineralogist special publication*, 10, Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, 347 pp.
- London, D., 2018. Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geology Reviews*, 101, 349–383.
- Mainprice, D., Bouchez, J.-L., Blumenfeld, P. and Tubi[^], J. M. 1986. Dominant c slip in naturally deformed quartz: implications for dramatic plastic softening at high temperature. *Geology* , 14, 819-822.
- Martins, T., Roda-Robles, E., Lima, A., de Parseval, P., 2012. Geochemistry and evolution of micas in the Barroso–Alvão pegmatite field, Northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, 50, 1117-1129.
- Melleton, J., Gloaguen, E., Frei, D., Novák, M., Breiter, K., 2012. How are the emplacement of rare-element pegmatites, regional metamorphism and magmatism interrelated in the Moldanubian domain of the Variscan Bohemian Massif, Czech Republic? *The Canadian Mineralogist*, 50, 1751-1773.
- Menegon L, Pennacchioni G, Heilbronner R, Pittarello L, 2008. Evolution of quartz microstructure and c-axis crystallographic preferred orientation within ductilely deformed granitoids (Arolla Unit, Western Alps). *J Struct Geol* 30:1332–1347.
- Miller, R.B., and Paterson, S.R., 1994, The transition from magmatic to high-temperature solid-state deformation: implications from the Mount Stuart batholith, Washington: *Journal of Structural Geology*, v. 16, p. 853 - 866.
- Morgan, S.S., Law, R.D., 2004. Unusual transition in quartzite dislocation creep regimes and crystal slip systems in the aureole of the EJB pluton, California: a case for anhydrous conditions created by decarbonation of adjacent marbles. *Tectonophysics* 384, 209-231.
- Navidad, M. & Carreras, J. 1995. Pre-Hercynian magmatism in the Eastern Pyrenees (Cap de Creus and Albera Massifs) and its geodynamical setting. *Geol. en Mijnbouw* 74, 65-77.
- Norton, J., 1973. Lithium, cesium, and rubidium -The rare alkali metals. *United States Mineral Resources*, 365–378.
- Okudaira, T., Takeshita, T., Hara, I., Ando, J., 1995. A new estimate of the conditions for transition from basal <a> to prism [c] slip in naturally deformed quartz. *Tectonophysics* 250, 31-46.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2005. *Micro-tectonics*, second ed. Springer, p. 366.

- Paterson, S.R., Vernon, R.H., and Tobisch, O.T., 1989, A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids: *Journal of Structural Geology*, v. 11, p. 349-363.
- Peacock, S.M., 1990. Numerical Simulation of regional and contact metamorphism using the Macintosh microcomputer. *Journal of Geological Education*, 38, 132-137.
- Reche, J., Martinez, F.J., 1996. GPT: an Excel spreadsheet for thermobarometric calculations in metapelitic rocks. *Comput. Geosci.* 22, 775-784.
- Reche, J., Carreras, J., Druguet, 1996. Le massif du Cap de Creus. Chapter métamorphisme hercynien. In Barnolas, A., Chiron, J.C. Eds., *Synthèse Géologique et Géophysique des Pyrénées*, vol. 1, BRGM-IGTE Eds., pp. 521-523.
- Roda Robles, E., Pesquera Perez, A., Velasco Roldan, F. and Fontan, F., 1999. The granitic pegmatites of the Fregeneda area (Salamanca, Spain): characteristics and petrogenesis. *Mineralogical Magazine*, 63, 535–558.
- Saint Blanquat (de) M., Tikoff B., Teyssier C., & Vigneresse J.L. 1998. Transpressional kinematics and magmatic arcs. In: Holdsworth, R.E., Strachan, R.A. & Dewey, J.F, editors, "Continental transpressional and transtensional tectonics". Geological Society, London, Special Publications, 135, 327-340.
- Saint Blanquat M. (de), Habert G., Horsman E., Morgan S., Tikoff B., Launeau P., and Gleizes G., 2006. Mechanisms and duration of non tectonically-assisted emplacement in the upper-crust: the Black Mesa pluton, Henry Mountains, Utah. *Tectonophysics*, 428, 1-4, 1-31.
- Saint Blanquat M. (de), Habert G., Horsman E., Law R., Morgan S., Tikoff B., and Vanderhaeghe O., 2011. Multiscale magmatic cyclicality, duration of pluton construction, and the paradoxical relationship between tectonism and plutonism in continental arcs. *Tectonophysics*, 500 (2011) 20–33.
- Serrano J., 2019. Origine des pegmatites du Cap de Creus, Espagne. PhD Thesis, Toulouse University.
- Serrano J., Van Lichtervelde M., de Saint Blanquat M. The origins of the Cap de Creus pegmatites. Submitted to *Lithos*.
- Shaw, R.A., Goodenough, K.M., Roberts, N.M.W., Horstwood, M.S.A., Chenery, S.R. and Gunn, A.G., 2016. Petrogenesis of rare-metal pegmatites in high-grade metamorphic terranes: A case study from the Lewisian Gneiss Complex of north-west Scotland. *Precambrian Research*, 281, 338–362.
- Simmons, S., and Webber, K., 2008. Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy*, 20, 421-438.
- Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner, R. and Schmid, S.M., 2002. The eastern Tonale fault zone: a 'natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700°C. *Journal of Structural Geology*, 24, 1861–1884.

- Tribe, I.R., and D'Lemos, R.S., 1996, Significance of a hiatus in down-temperature fabric development within syn-tectonic quartz diorite complexes, Channel Islands, UK: Geological Society [London] Journal, v. 153, p. 127-138.
- Van Lichtenvelde, M., Grand'Homme, A., de Saint-Blanquat, M., Olivier, P., Gerdes, A., Paquette, J.-L., Melgarejo, J.C., Druguet, E. and Alfonso, P., 2017. U-Pb geochronology on zircon and columbite-group minerals of the Cap de Creus pegmatites, NE Spain. *Mineralogy and Petrology*, 111, issue 1, p.1–21.
- Vanderhaeghe, O., 1999. Pervasive melt migration from migmatites to leucogranite in the Shuswap metamorphic core complex, Canada: control of regional deformation. *Tectonophysics*, 312, 35-55.
- Vanderhaeghe O., 2004. Structural development of the Naxos migmatite dome, in Whitney, D.L., Teyssier, C., and Siddoway, C.S., *Gneiss domes in orogeny: Boulder, Colorado*, Geological Society of America Special Paper 380, p. 211–228.
- Vignerresse, J.L., Tikoff, B., Ameglio, L., 1999. Modification of the regional stress field by magma intrusion and formation of tabular granitic plutons. *Tectonophysics* 302, 203–224.
- Webber, K.L., Simmons, W.B., Falster, A.U., and Foord, E.E., 1999. Cooling rates and crystallization dynamics of shallow level pegmatite-aplite dikes, San Diego County, California. *American Mineralogist*, 84, 708-717.
- Weinberg R.F. and Mark G., 2008. Magma migration, folding, and disaggregation of migmatites in the Karakoram Shear Zone, Ladakh, NW India. *GSA Bulletin*, v. 120, no. 7/8, p. 994–1009, doi: 10.1130/B26227.1.

Tables

Table 1: location and main structural characteristics of the CdC pegmatites that were presented in the figures and discussed in the text.

Figures

Figure 1: a/ and b/ location (modified from Lemirre et al., 2019) and c/ general geological map (simplified from Carreras, 2001) of the studied area. In a/, the area in grey are the Palaeozoic and older rocks. In c/ the coordinates are in UTM.

Figure 2: map of the Cap de Creus area showing the major deformation domains, the main foliation, the limits between metamorphic zones, the pegmatites and their spatial distribution (Druguet, 2001). The lithology is simplified and only the micaschists and the pegmatites are represented. The limit between the different types of pegmatites are modified from Corbella and Melgarejo (1993) and Van Lichtenvelde et al. (2017). These limits are dashed when their

original position was shifted by D3 shear zones. The pegmatites studied in details are in black.

Figure 3: role of the competence contrast in the deformation of a magmatic dyke for three types of deformation, shearing, coaxial shortening, coaxial stretching.

Figure 4: case example of a pegmatite sheared by D2 (CDC 123). a/ detailed map and stereographic data (Schmidt lower hemisphere). Blue losange : S1; open red losange : S2; red triangle : foliation in the pegmatite; black open losange : pegmatite orientation; green open losange : S3. b/ general view of the pegmatite showing the deep toward the SW. c/ detail showing the continuity between the foliation within the pegmatite and S2 in the micaschist.

Figure 5: case example of a pegmatite folded by D2 (CDC 120). a/ general map and structural data, same caption as figure 4. b/ metric scale P2 folds and continuity between the solid-state foliation within the pegmatite and S2 in the micaschist, and 1/ details of the folded pegmatite and its axial planar foliation.

Figure 6: case example of a pegmatite boudinaged by D2 (CDC 29). a/ general map and structural data, same caption as figure 4. b/ detail of the quartz tail of one boudins of pegmatite. c/ deformed quartz tail with steeply plunging lineation; d/ and e/ general view of the boudinaged pegmatite. West is on the right of the photos.

Figure 7: case example of an undeformed pegmatite (CDC 100). a/ general map and structural data, same caption as figure 4; b and c/ details showing the crosscutting relationship between the pegmatite and the different schistosities and the absence of internal deformation in the pegmatite.

Figure 8: case example of a undeformed pegmatite of the Tudela area (CDC 157). a/ general map and structural data, same caption as figure 4. b/ general view of the undeformed magmatic layering; c/ detail of the layering.

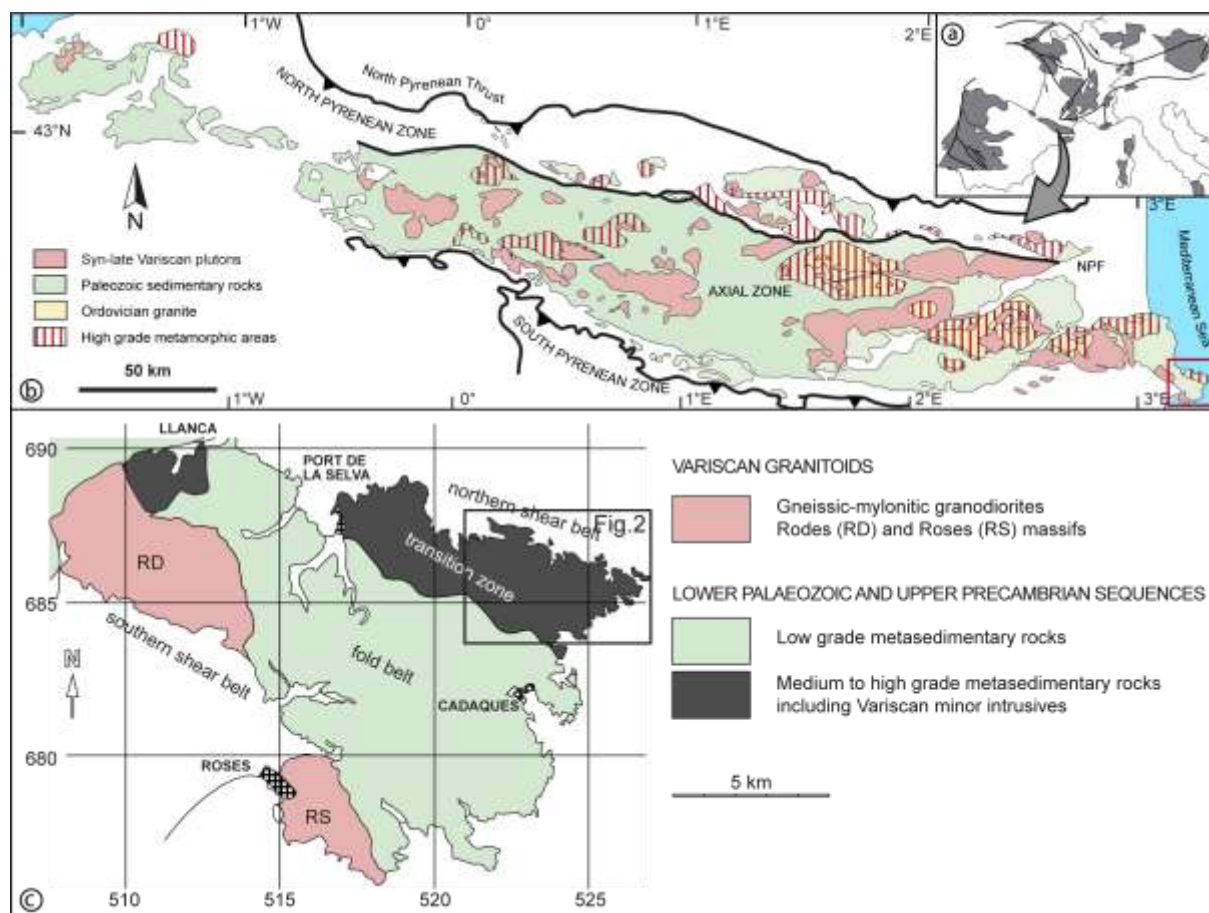
Figure 9: representative microstructures of the studied pegmatites. a and b/ pegmatite deformed by D3; c and d/ sheared pegmatite; e and f/ folded pegmatite; g and h/ boudinaged pegmatite; i and j/ apparently undeformed pegmatite; k and l : undeformed big pegmatite from Tudela.

Figure 10: EBSD results and synthesis. See text for discussion.

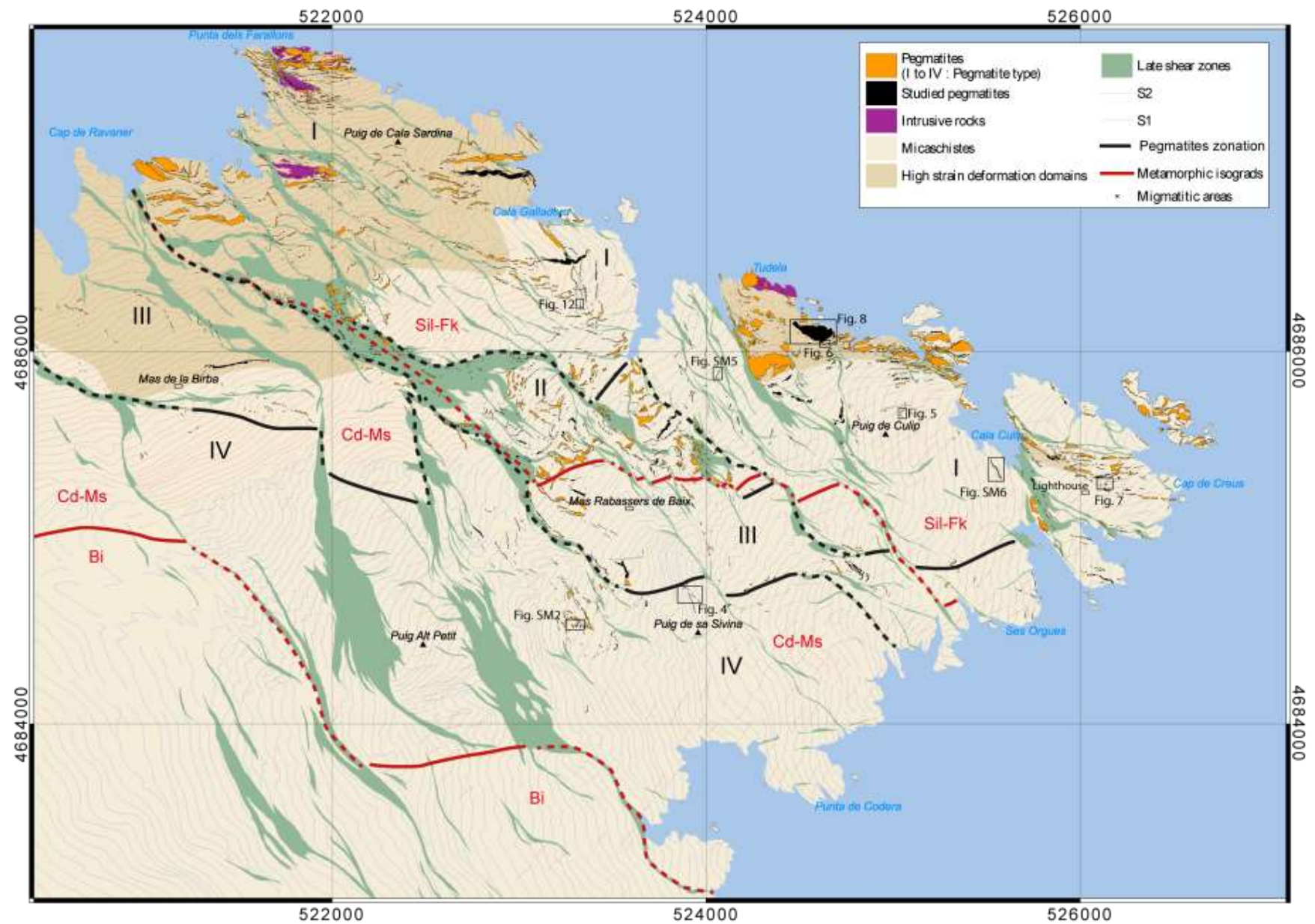
Figure 11: field relations between migmatite and pegmatite; a/ segregation veins perpendicular to the migmatite foliation; b/ pegmatite in textural continuity with leucosomes/segregation veins.

Figure 12: schematic model of evolution. See text for discussion.

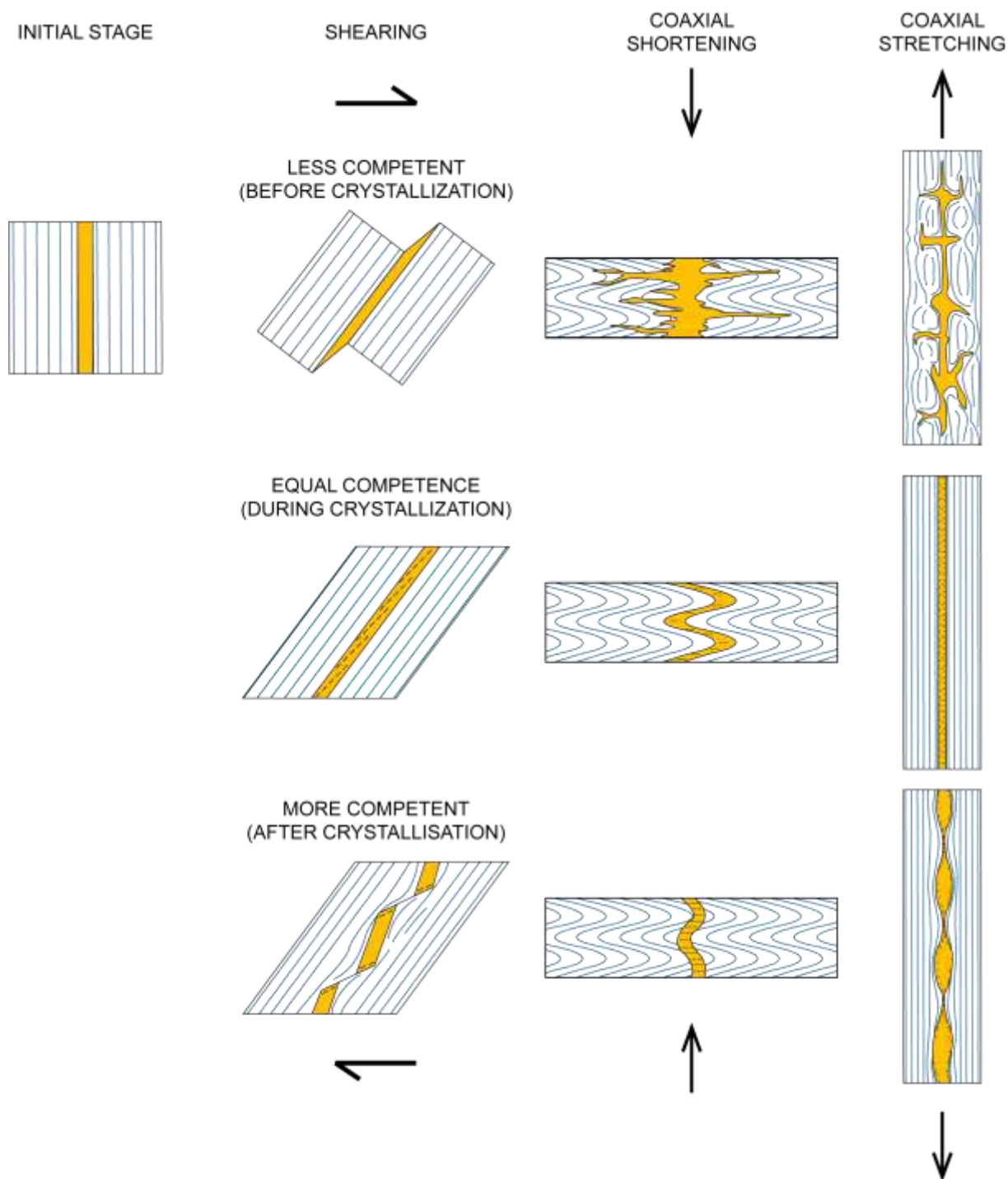
Figure 13: case example of an outcrop with three pegmatites of different ages (CDC 91, 92 and 93). a/ general map; b and c/ highly folded and foliated pegmatite; e/ layered pegmatite parallel to S2; d : undeformed pegmatite perpendicular to S2. Blue pen : S1; red pen : S2; orange pen : layering in the pegmatite.



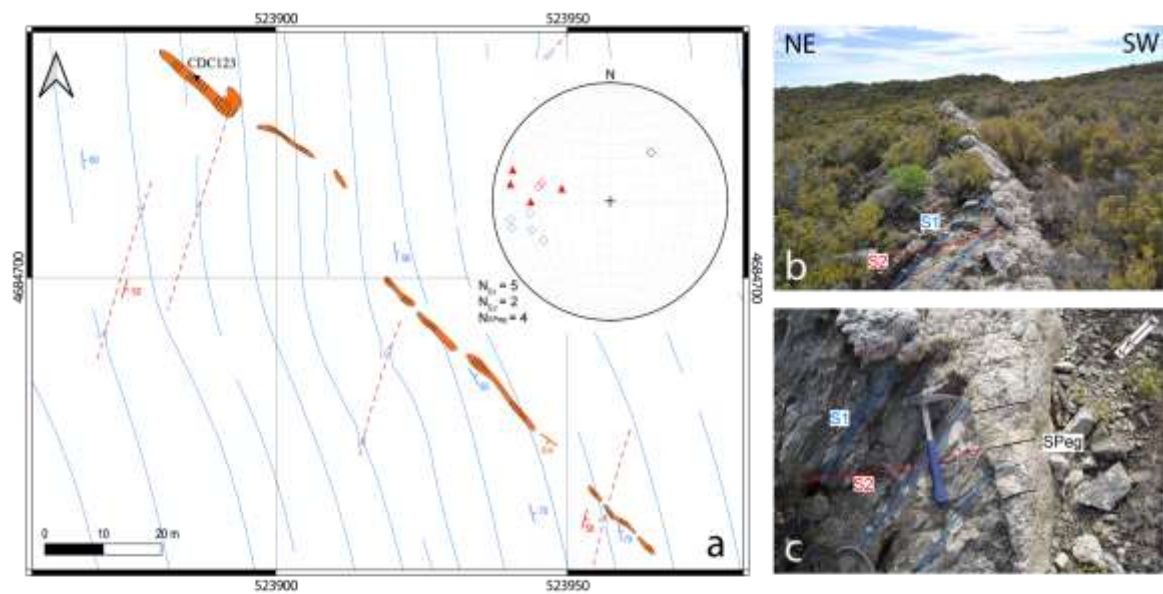
Serrano et al., figure 1



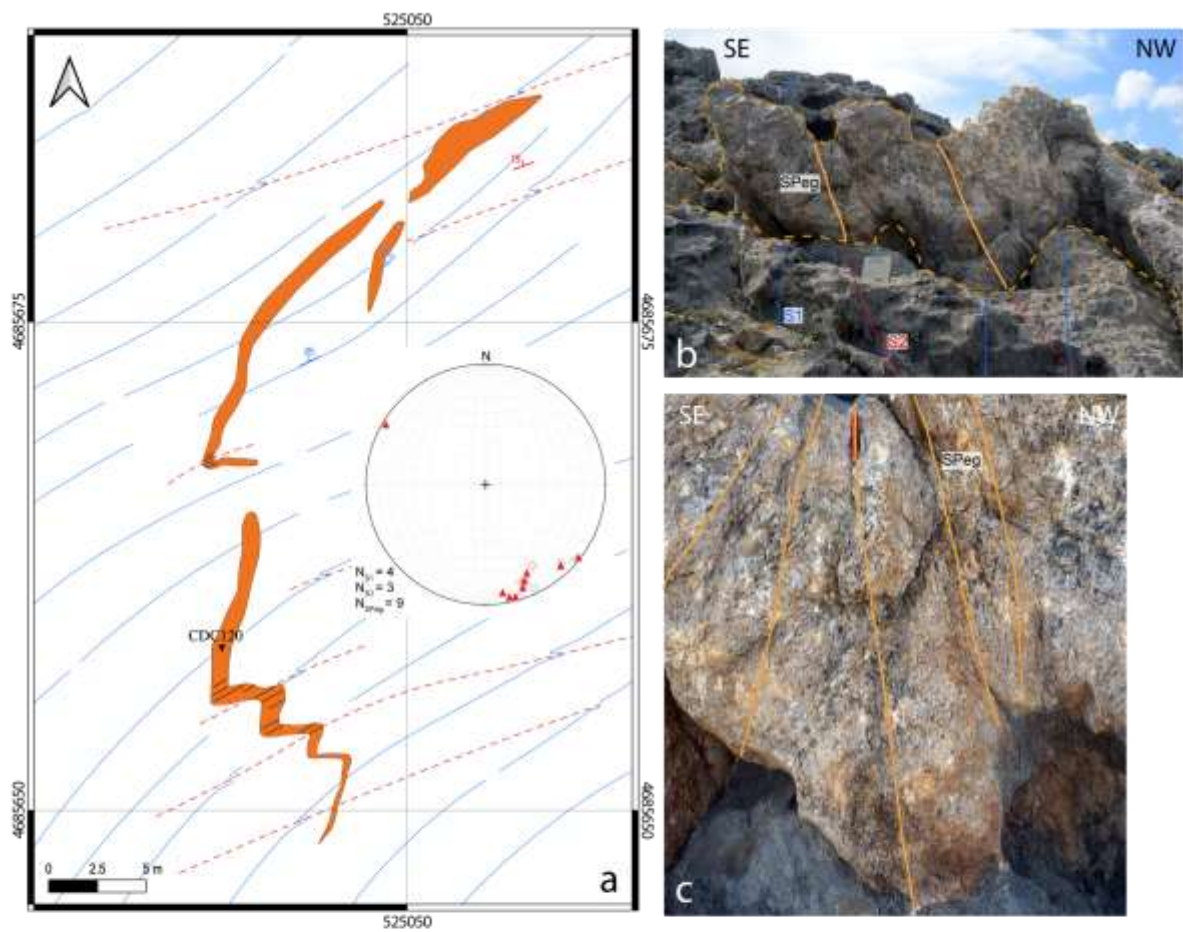
Serrano et al. figure 2



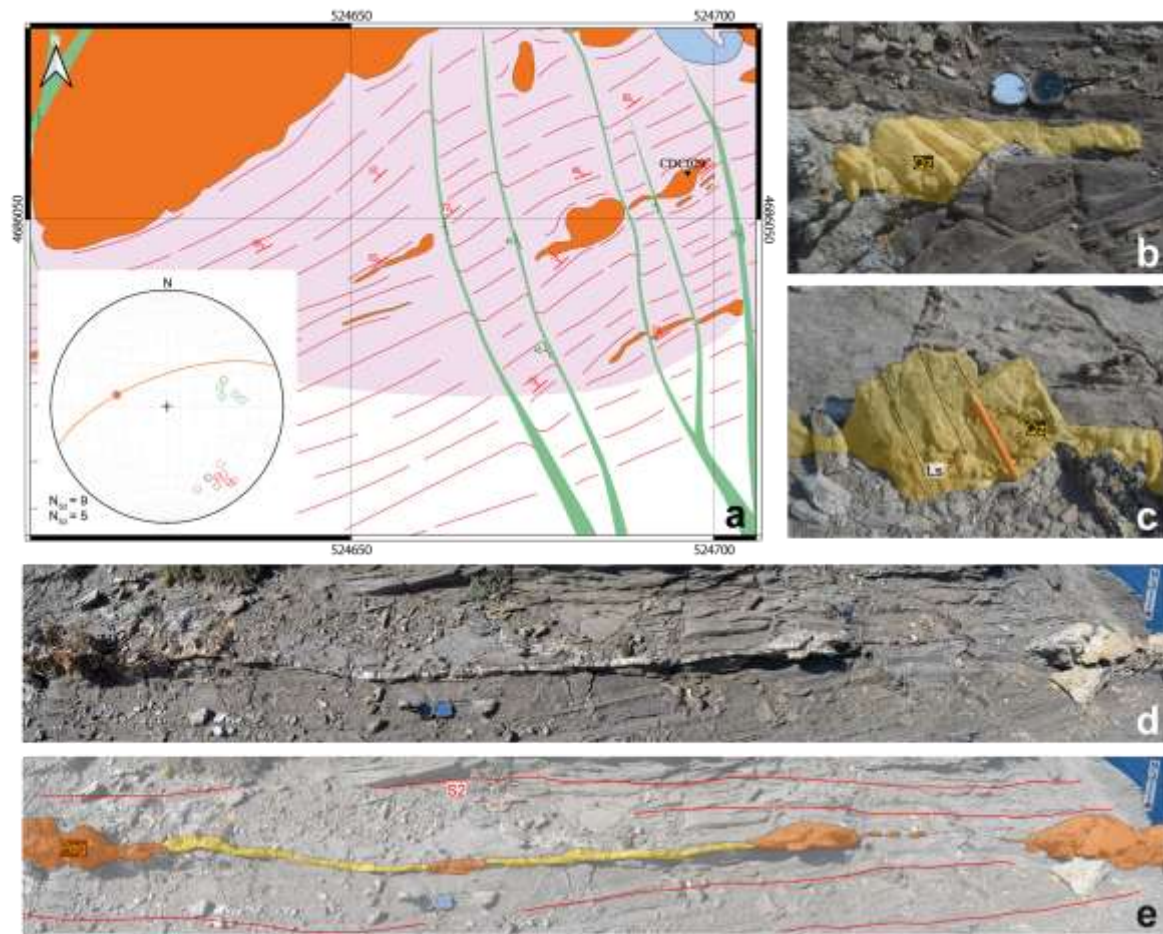
Serrano et al., figure 3



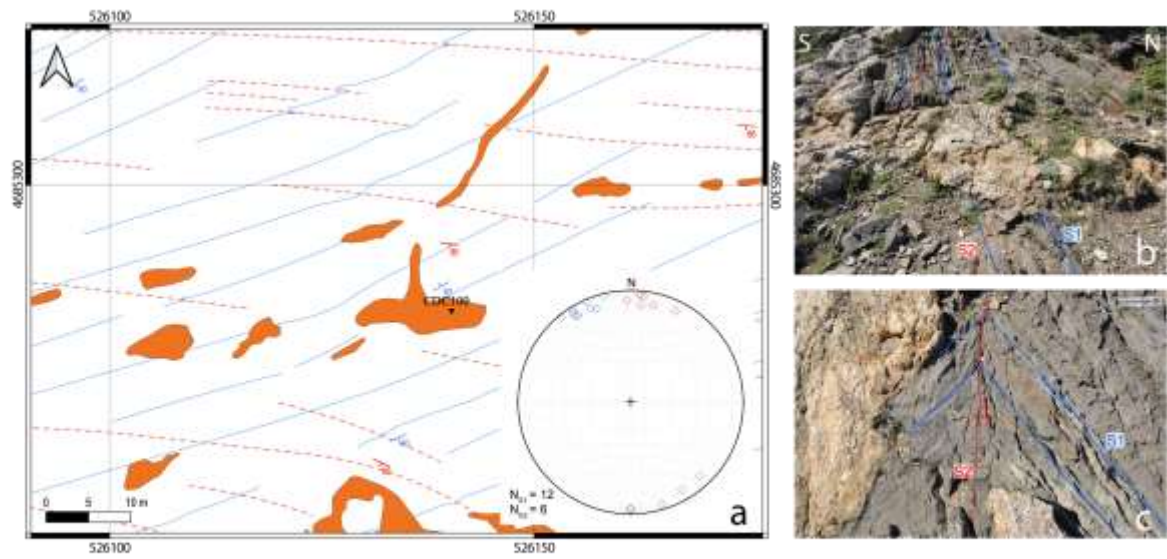
Serrano et al. figure 4



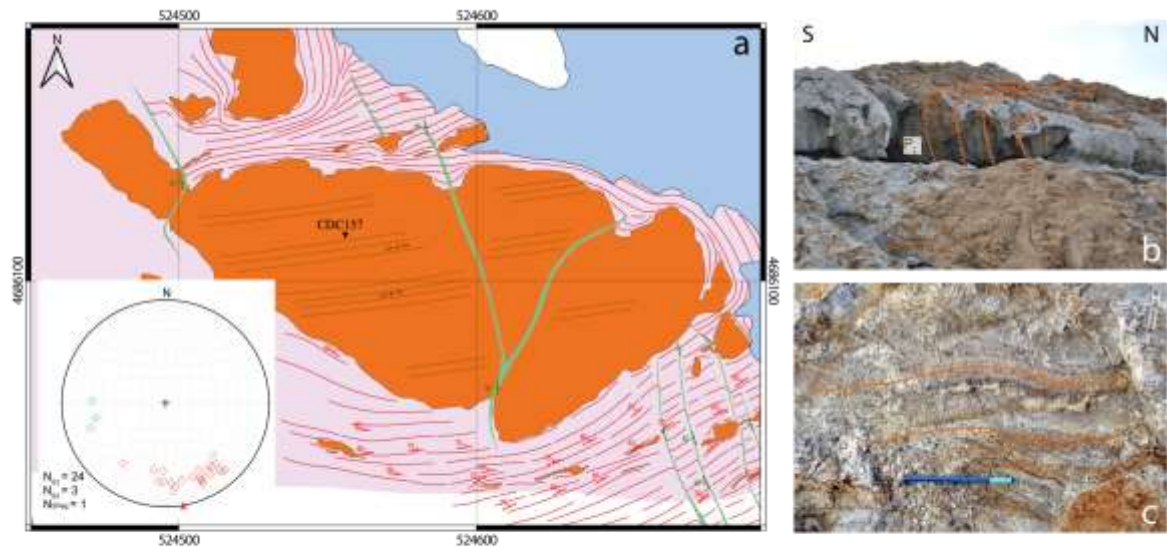
Serrano et al. figure 5



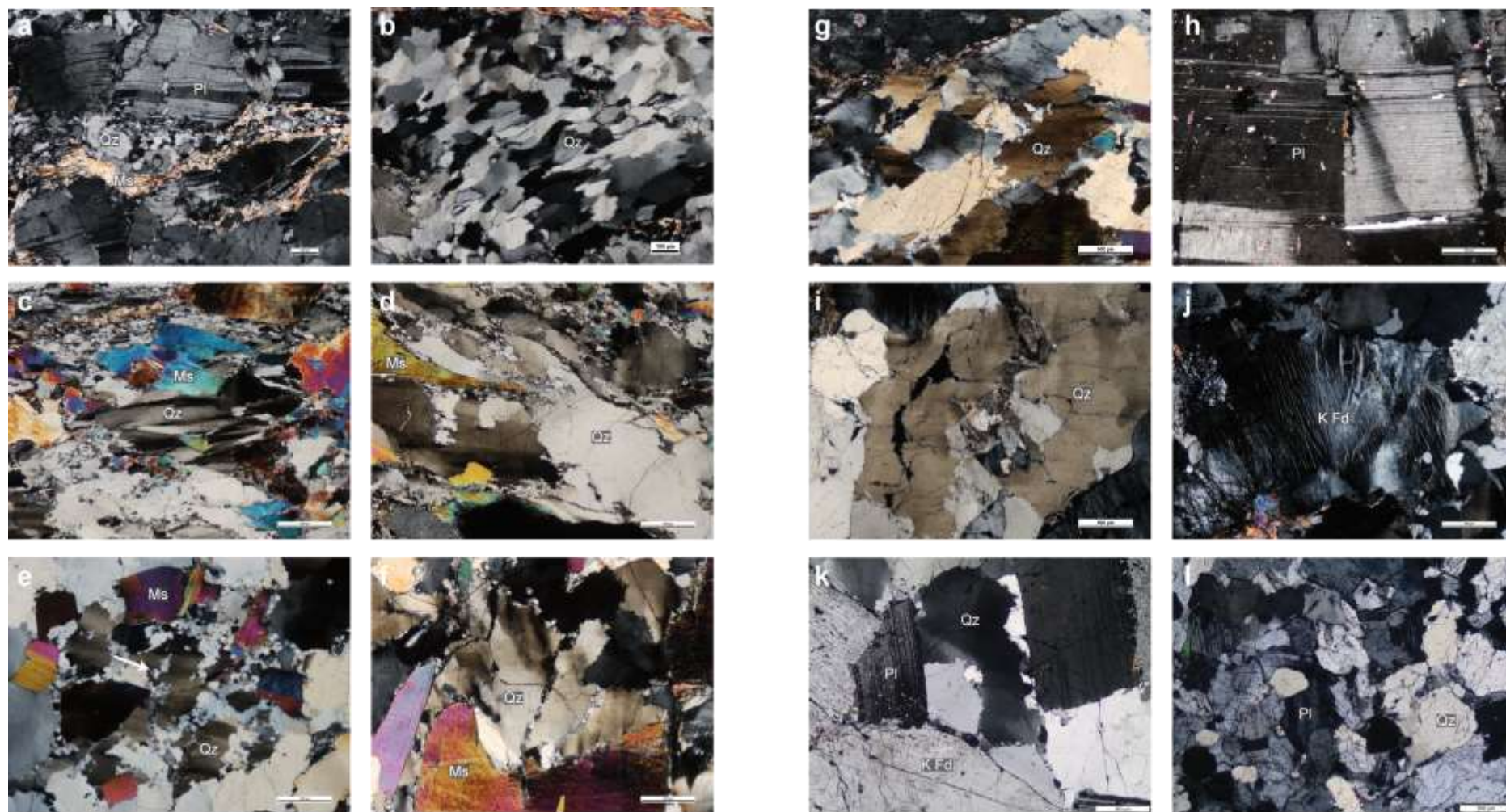
Serrano et al. figure 6



Serrano et al. figure 7



Serrano et al. figure 8



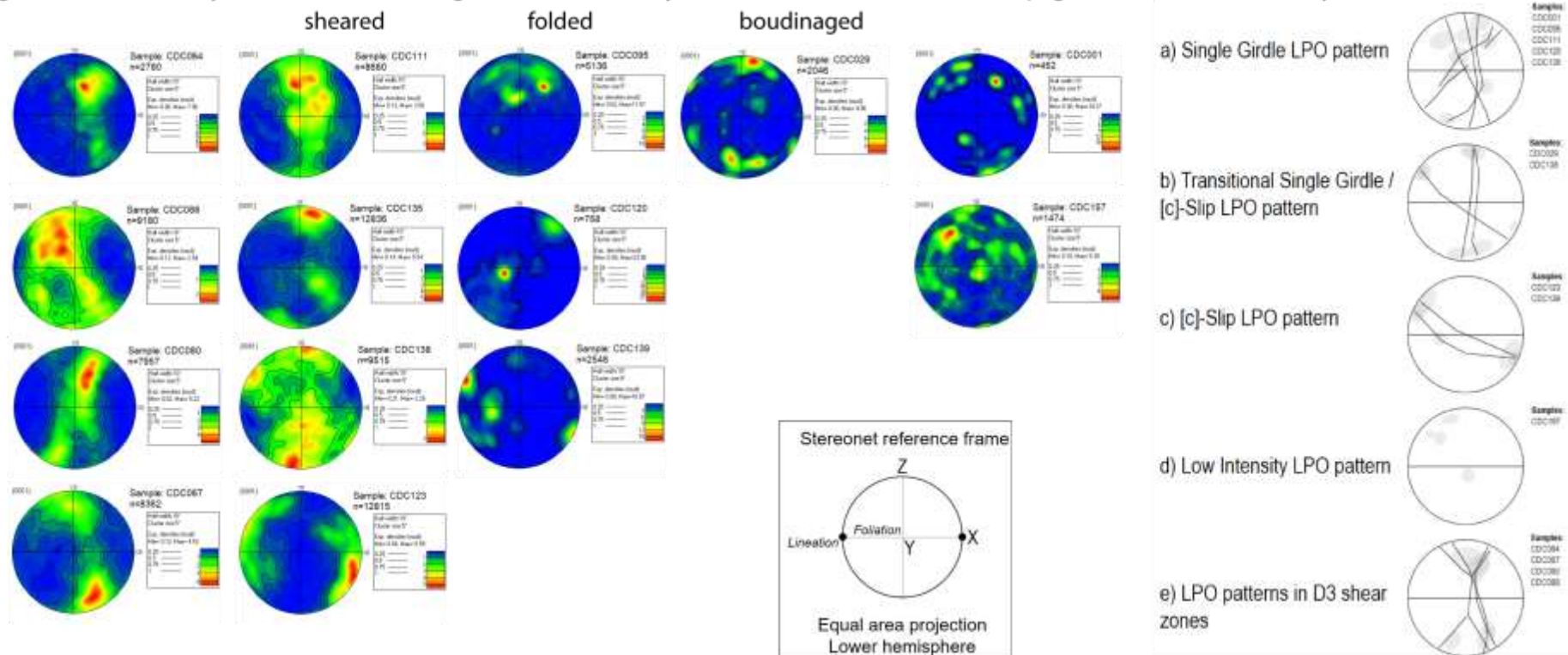
Serrano et al., figure 9

Pegmatites deformed by D3

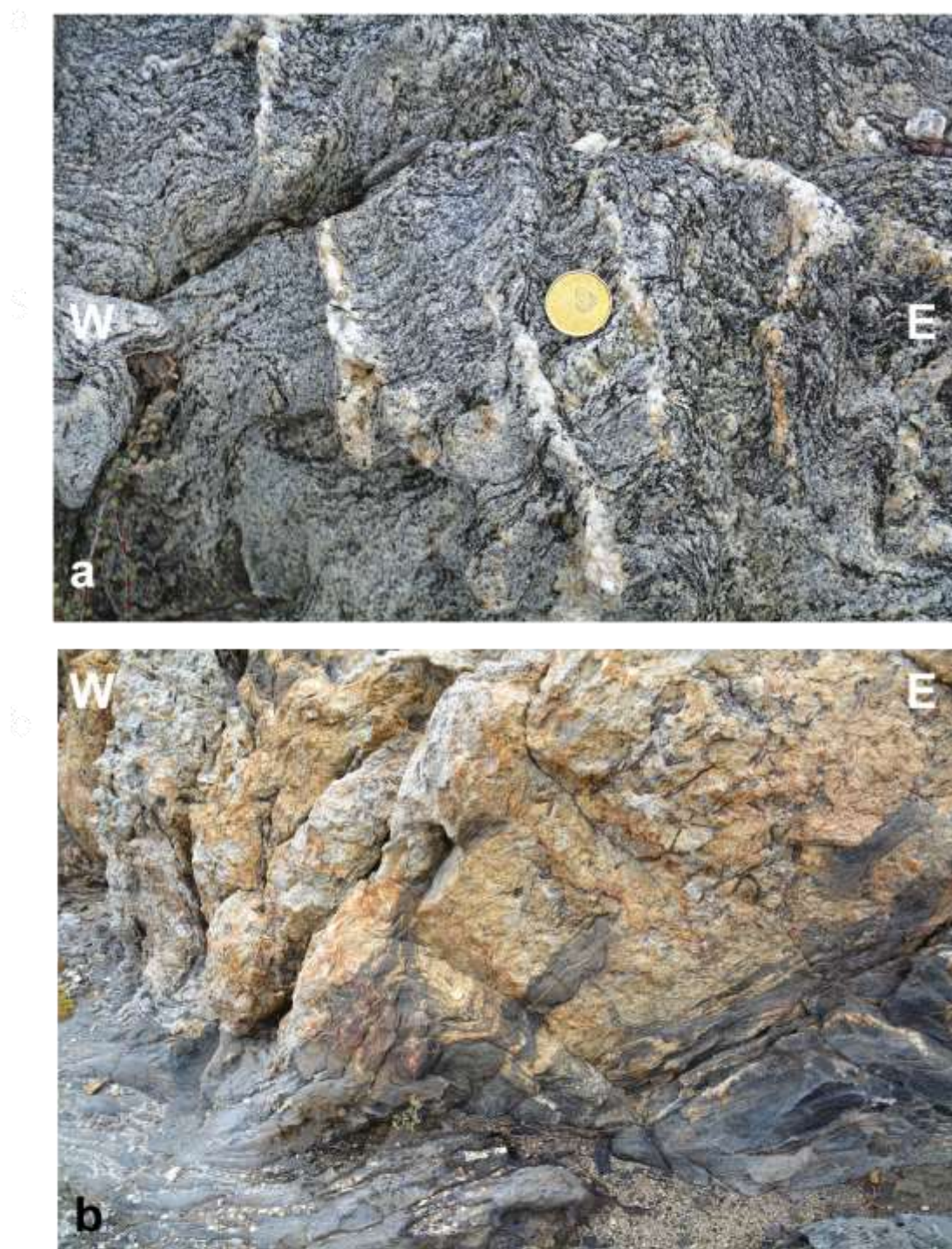
Pegmatites deformed by D2

Undeformed pegmatites

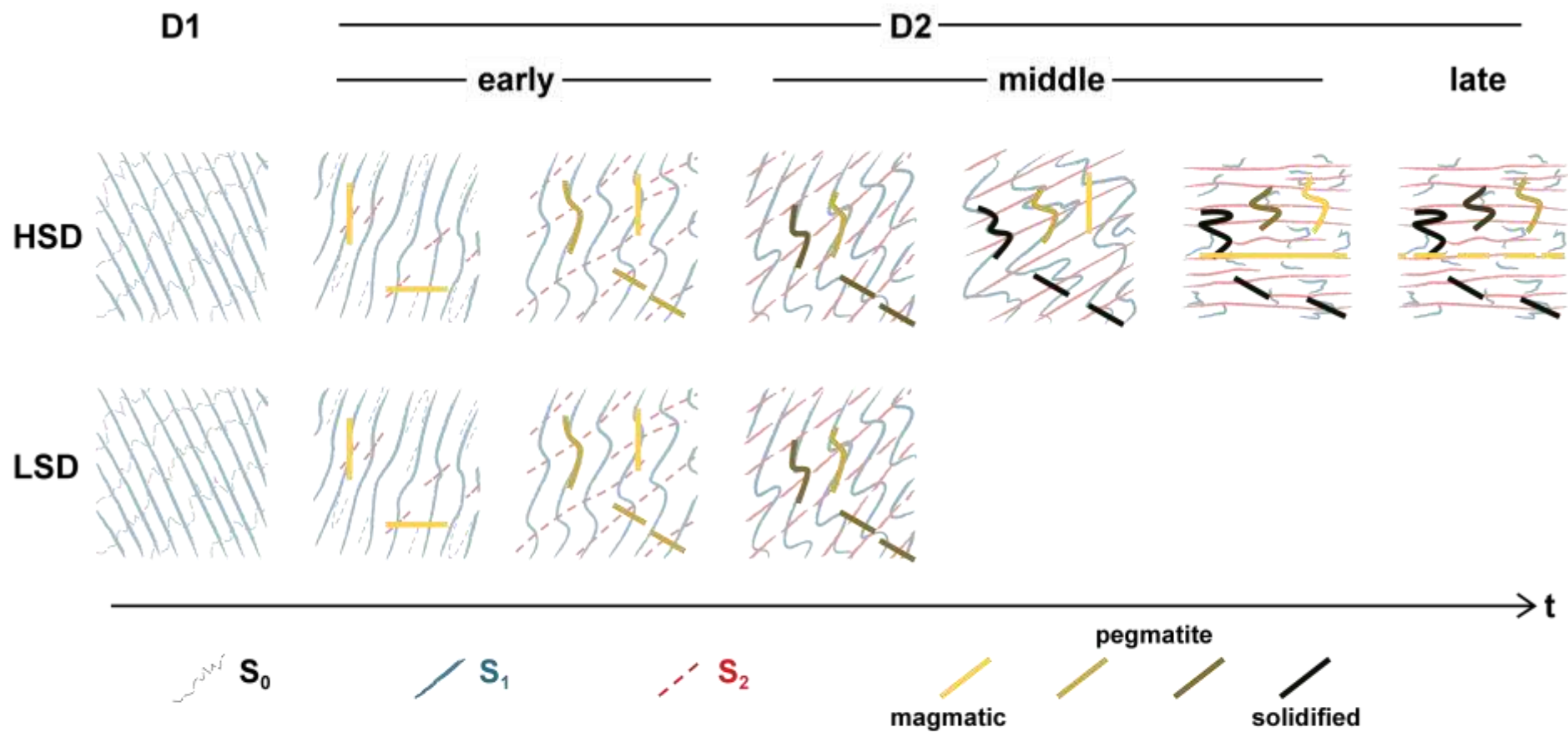
Synthesis



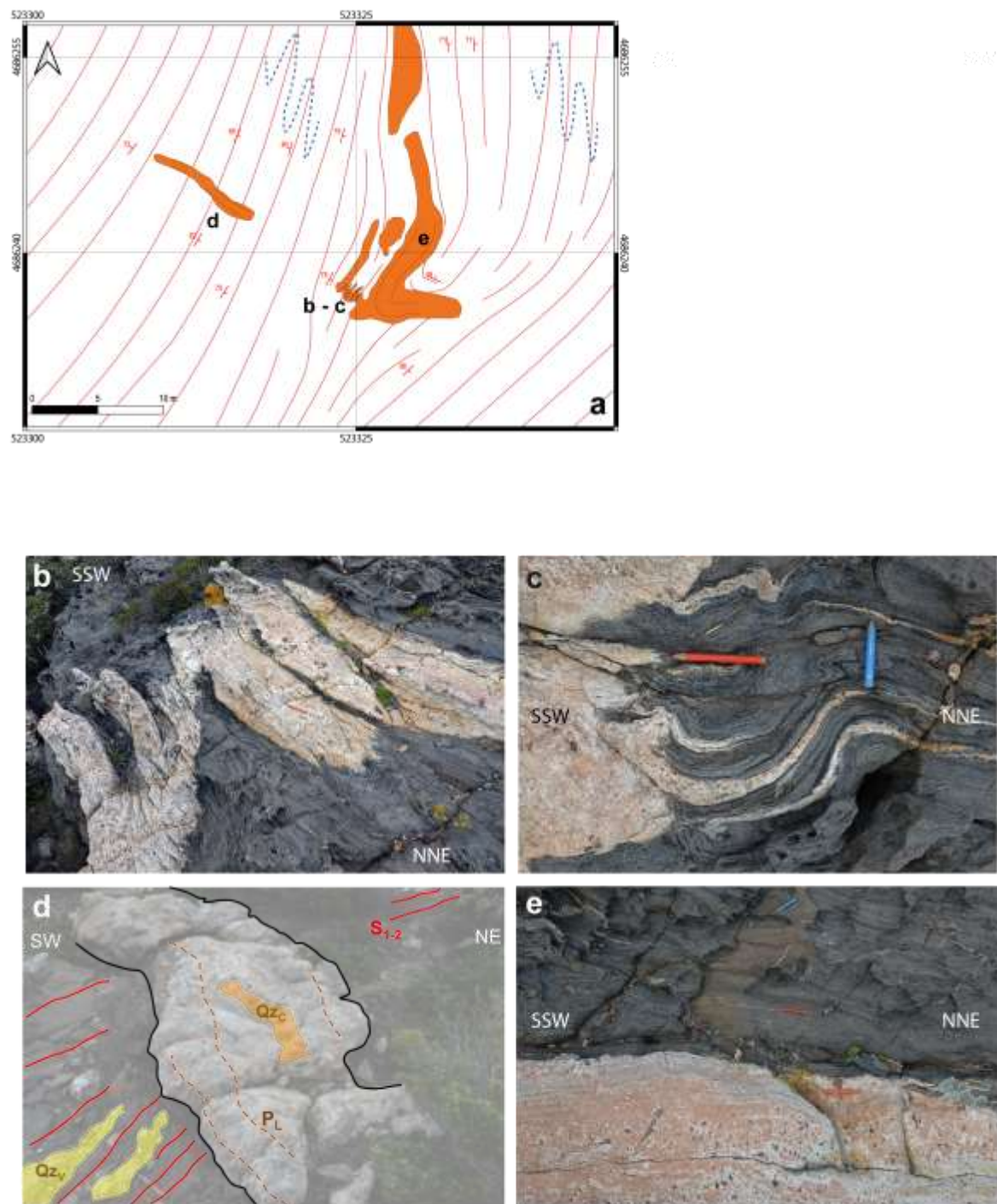
Serrano et al. figure 10



Serrano et al. figure 11



Serrano et al. figure 12



Serrano et al. figure 13

n°	X	Y	Type	type	Deformation	Metamorphism	Orientation	Length	Thickness	Angular departure/Sm	S1	S2	S3	L2	L3	recrystallization	T° deformation (Microstructures)	T° deformation (EBSD)	Chronology
CDC001	524544	4885730	I	Undeformed-layered	LSD	Sil-Ms	N40	15	4.5	n.d	N15 75W (Sm)	N45 77NW	n.d	n.d	n.d	GBM	> 500	Texture not is.	Low
CDC029	524698	4886055	I	Deformed-boudinaged	HSD	Migmatite	N05 82NW	15	2.5	10	n.d	N60 70NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	GBM	> 500	500 to 650	Undeformed
CDC064	522990	4886438	II	Sheared by D9	LSD	Sil-Ms	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	N130 40NE	n.d	n.d	SGR	400 to 500	400 to 500	Sheared by D9
CDC067	523889	4886621	II	Sheared by D3	LSD	Cor-And	N150 60NE	10	2	33	N175 80W (Sm)	n.d	N155 80NE	n.d	n.d	SGR	400 to 500	400 to 500	Sheared by D3
CDC090	523621	4884428	IV	Sheared by D3	LSD	Cor-And	N175	20	1.5	n.d	n.d	n.d	N120 45NE	n.d	n.d	SGR	400 to 500	> 400	Sheared by D3
CDC088	523014	4885514	II	Sheared by D5	LSD	Sil-Ms	N120	50	5	n.d	N85 35NW	n.d	N110 30NE	n.d	N355 25	SGR	400 to 500	400 to 500	Sheared by D3
CDC095	523230	4886748	I	Deformed-folded	LSD	Sil-Ms	N20 80W	5	0.2	5	N20 75W (Sm)	N117 80SW	n.d	n.d	n.d	Transition BLG-SGR	400	400 to 500	Early
CDC111	525718	4884888	II	Deformed-sheared	LSD	Sil-Ms	N120 80SW	6	1	14	N05 85E (Sm)	N30 77SE	n.d	n.d	n.d	SGR	400 to 500	400 to 500	Early
CDC120	525045	4886672	I	Deformed-folded	LSD	Sil-Ms	N30 65W	20	1	20	N60 80NW (Sm)	N70 75NW	n.d	n.d	n.d	SGR	400 to 500	400 to 500	Early
CDC123	523888	4884734	IV	Deformed-sheared	LSD	Cor-And	N130 40SW	80	0.5 to 1	66	N170 80E (Sm)	N15 50E	n.d	n.d	n.d	SGR	400 to 500	> 650	Early
CDC135	522945	4884888	IV	Deformed-sheared	LSD	Cor-And	N175 25W	40	0.2	41	N20 37W (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	SGR	400 to 500	400 to 500	Early
CDC138	523438	4885989	II	Deformed-sheared	LSD	Cor-And	N130 75NE	40	1	28	N40 80NW (Sm)	N55 75 NW	n.d	n.d	n.d	SGR	400 to 500	500 to 650	Early
CDC139	524081	4886878	II	Deformed-folded	LSD	Sil-Ms	N20 80W	80	1	11	N35 80NW (Sm)	N70 85S	n.d	n.d	n.d	GBM	> 500	> 650	Early
CDC157	524586	4886190	I	Undeformed-layered	HSD	Migmatite	N80 15N *	230	>15	55	n.d	N60 70N (Sm)	N170 63E	n.d	n.d	Dominant magmatic textures		Texture not is.	Low

Serrano et al. Table 1

Supplementary materials

Tables

Table SM 1: location and main structural characteristics of all the studied pegmatites.

Table SM 2: thermal parameters for the numerical simulations of dyke cooling and duration of solidification of dyke of various thickness as a function of the wallrock temperature.

Figures

Figure SM 1: the orientation of the pegmatite dykes at the scale of our study area. a/ in stereograms, and b/ in rose diagram showing the evolution of the trend of pegmatitic dyke depending of their type.

Figure SM 2: case example of a pegmatite deformed by D3 (CDC 84). a/ general map and structural data, same caption as figure 4; b and c/ details of the S3 foliation within pegmatites.

Figure SM 3: the diffuse almost brittle D3 deformation in the southern LSD, a/ in the micaschists, b/ affecting a dyke of pegmatite.

Figure SM 4: other examples of variously sheared (a) and folded (b, c and d) pegmatites. In b the pegmatite is foliated. In c the pegmatite is foliated only in its thinnest parts. In d, the pegmatite is folded at magmatic state.

Figure SM 5: case example of a pegmatite deformed by D2 and D3 (CDC 139). a/ general map and structural data, same caption as figure 4; b/ foliation parallel to S2 in the pegmatite; c/ foliation parallel to S3 in the pegmatite.

Figure SM 6: details of the relation between S2 and a folded (a and b) pegmatite (CDC 142) which deform its wallrocks while intruding. S2 is deformed and a intrusion-induced schistosity, which deform S1 and S2, formed in the micaschists around the pegmatite (CDC 142) (c, d and e).

Principle and methodology of EBSD

Electron Back-Scatter Diffraction (EBSD) is a method to obtain informations on the crystallographic nature of a natural or non-natural sample. This technique, developed in the 1980s, uses a scanning electron microscope (SEM) to provide not only the orientations of all crystallographic axes (which can be used to prepare inverted-face maps and pole figures (Fig. 10a), but also generates a lot of statistical data on size, shape and orientation of grains. These informations can be used for kinematic analysis but also for temperature estimations during deformation(s). In geology it is through quartz textures (crystallographic preferred orientation), particularly through pole figures of quartz c axes, that investigations occurs. It allows to interpret the deformation kinematic such as shear senses (Kilian et al., 2011), and constrain types (Jessup et al., 2007; Fighih et al., 2015), but also deformation mechanisms and

slip systems involved (Menegon et al., 2008; Kilian et al., 2011; Killian and Heilbronner, 2017) or recrystallization processes (Stipp et al., 2002; Heilbronner and Tullis, 2006), or to estimate syn kinematic temperatures (Stipp et al., 2002; Morgan and Law, 2004; Law, 2014).

For EBSD analysis, sample are cut perpendicular to foliation and parallel to lineation (XZ plane). Once analyzes are done, the direction of principal quartz axes : $\langle c \rangle$, $\langle m \rangle$ and $\langle a \rangle$ axes ($\{0001\}$; $\{11-20\}$; $\{10-10\}$ respectively) are projected on stereograms (lower hemisphere) called pole figures (Fig. 13). These pole figures are presented in a standard way with the Y direction on vertical finite strain and the X and Z directions along the EO and NS axes respectively. This implies that foliation is represented by a vertical E-W plane and lineation (horizontal line) by dots in X direction. Depending on deformation regime(s) but also on temperature deformation(s), the axes of each grain (represented by a dot) will preferentially oriented and formed different characteristic pole figures (Fig. 10a). Generally axes are grouped into contour lines according to their density. It allows to create a "fabric skeleton", a pattern of lines connecting the contour maxima. Interpretations of the different slip systems involved during deformation (coaxial or non-coaxial) are mainly make on $\langle c \rangle$ axes pole figures, occasionally combined with $\langle a \rangle$ axes pole figures. Generally, in the case of non-coaxial deformation, the characteristic patterns of pole figures of $\langle c \rangle$ axes evolve from low to high deformation temperatures (Passchier and Trouw, 2005): 1) At low temperature ($< 400^\circ \text{C}$) the "Type I and II crossed girdle" patterns characterize a combination of basal, rhombohedral and prismatic slip planes in the direction of the $\langle a \rangle$ axis during deformation; 2) At medium temperature (400 to 500°C) these patterns show only a combination of prismatic and rhombohedral slip plane in the $\langle a \rangle$ axis direction, until showing only one dominant prismatic slip plane in the direction of the $\langle a \rangle$ axis (500 to 650°C); 3) At high temperature ($> 650^\circ \text{C}$) directions of quartz $\langle c \rangle$ axes are parallel to the stretching direction (X direction) highlighting a dominant prismatic slip plane in the direction of the $\langle c \rangle$ axis during deformation. In the present study, the 1) and 2) LPO patterns will be called "Type I crossed girdle or single girdle LPO pattern" and the 3) LPO pattern will be called the " $\langle c \rangle$ slip LPO pattern".

Quartz crystallographic preferred orientation were measured in 14 pegmatites by EBSD. Lower hemisphere, equal-area pole figures were created and for each sample, the $\{0001\}$ (c axes) crystallographic directions and planes were plotted in the rock fabric (XYZ) reference frame (Fig. 10a).

Numerical simulation of dyke cooling

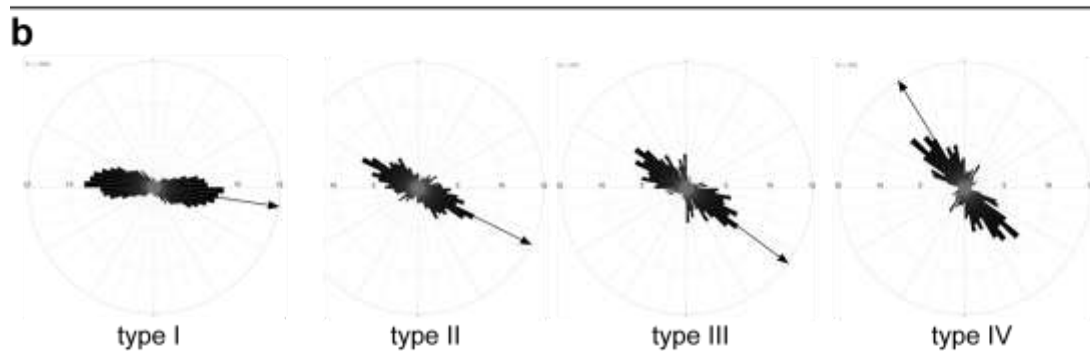
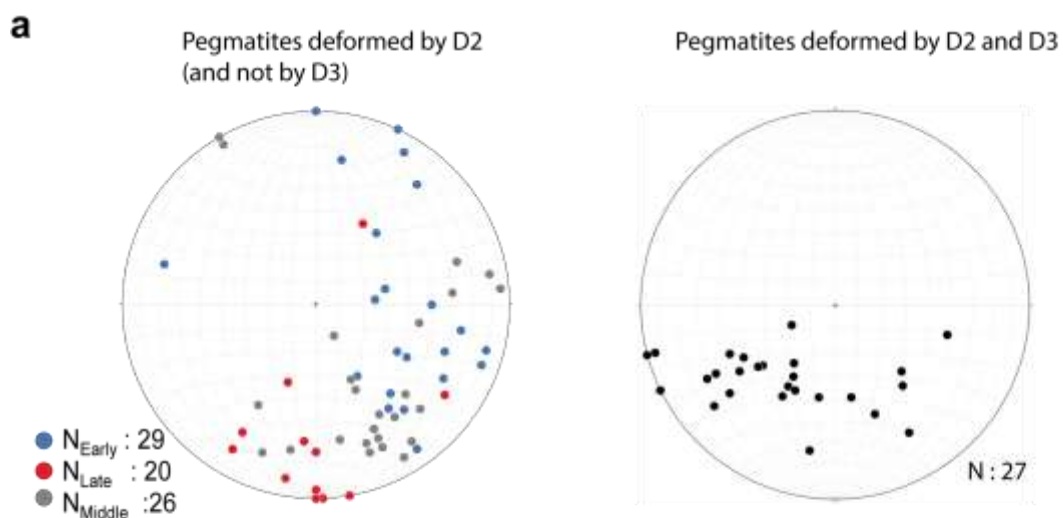
Given the relatively simple geometry of a dyke – wallrocks system, we consider that the approximation of the infinite plane can be used to explore the evolution of the temperature of a horizontal line perpendicular to the intruding dyke. Therefore, we used a one-dimensional model. The thermal history of the dyke and its wallrocks has been numerically simulated with the program DF1DEXPL.vba which is based on an explicit finite difference algorithm to solve the one-dimensional conductive heat transfer equation (Peacock, 1990; Gvirtzman and Garfunkel, 1996; St Blanquat et al., 2006):

$$(1) \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{r C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{A(z)}{r C_p}$$

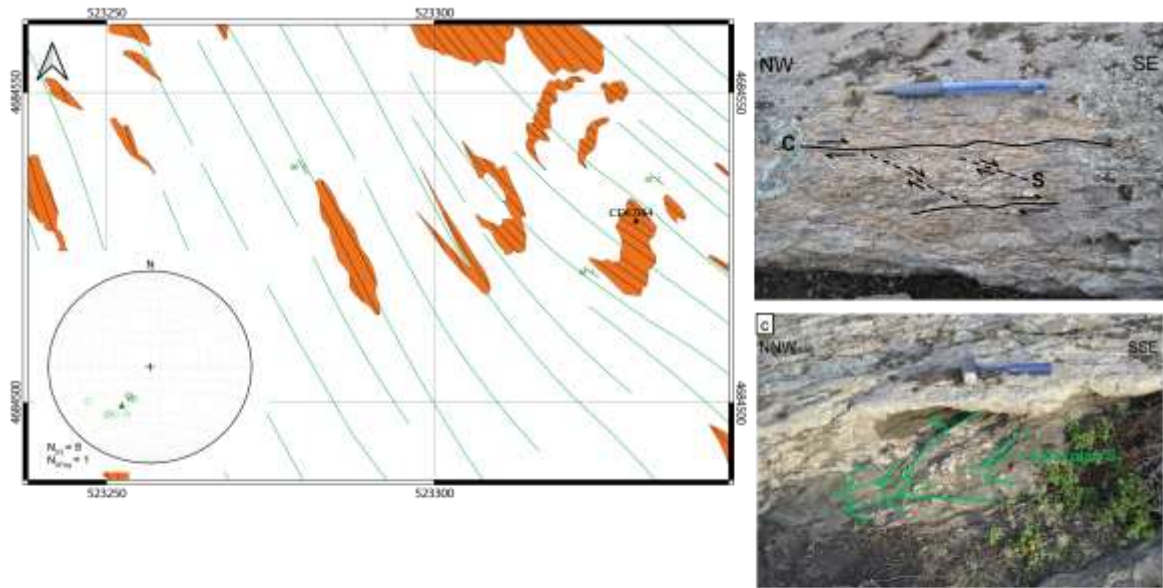
where T is temperature, k is thermal conductivity, t is time, $A(z)$ is internal heat production rate per unit volume, z is depth, c_p is the specific heat per unit mass and ρ is the density. The latent heat (ΔH) is computed using the formulation of Furlong et al. (1991). At each node, if the temperature belongs to the interval of crystallisation ΔT ($T_{injection} - T_{solidus}$), the latent heat is included in the specific heat with the formula (Furlong et al., 1991):

$$(2) \quad C_{p_modified} = C_p + \frac{\Delta H}{\Delta T}$$

Parameters for the magma and the host rocks and results are given in Table SM2. The boundary conditions are the same for all simulations: (1) there is no heat flux at the boundaries, and (2) the boundaries of the model are far enough from the intrusion that they are not influenced by the heat release from the magma (i.e. the boundaries stay at the same temperature during the entire simulation as there is no internal heat production in the host rock). We extract the time at which the middle of the dyke was at the solidus temperature. We note, however, that the temperatures, and consequently the duration of solidification we obtain should be overestimated, due to the fact that heat transfer is only conductive and that there is no 3d dispersion of heat.



Serrano et al. figure SM1



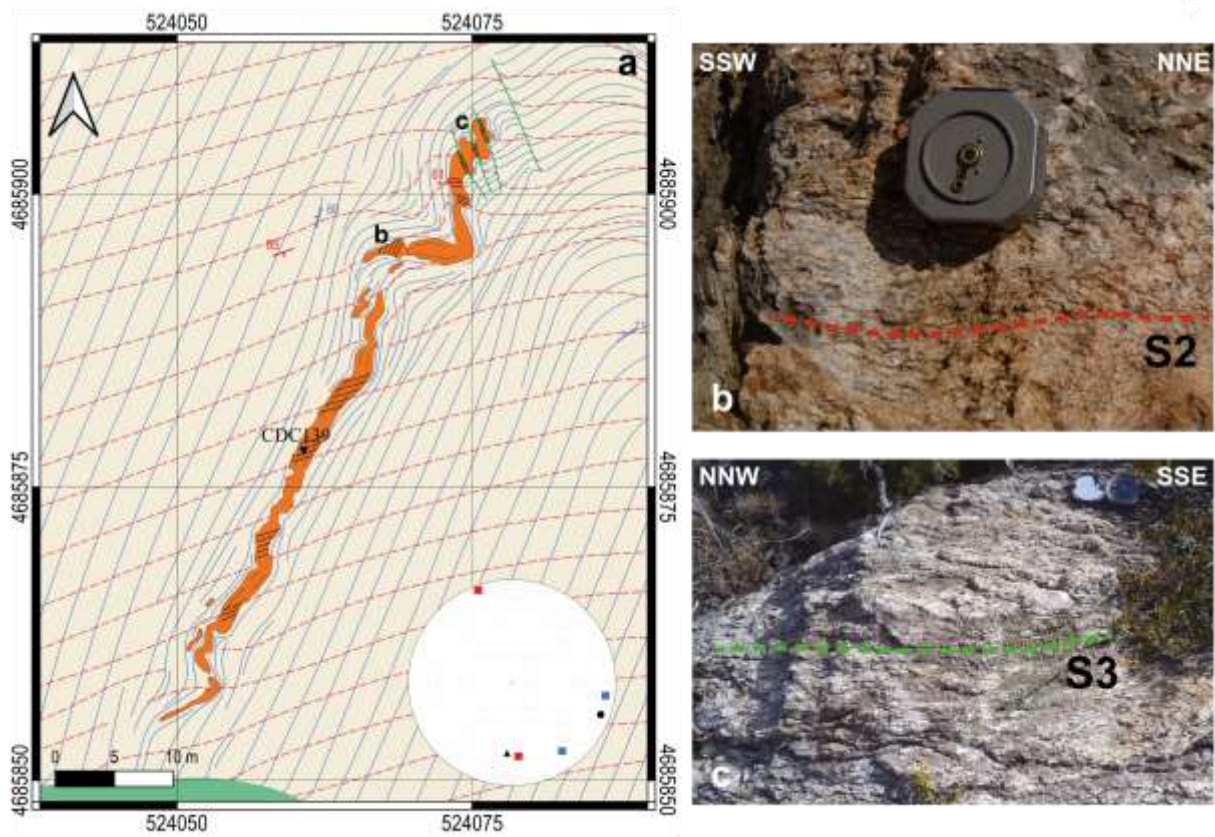
Serrano et al. figure SM2



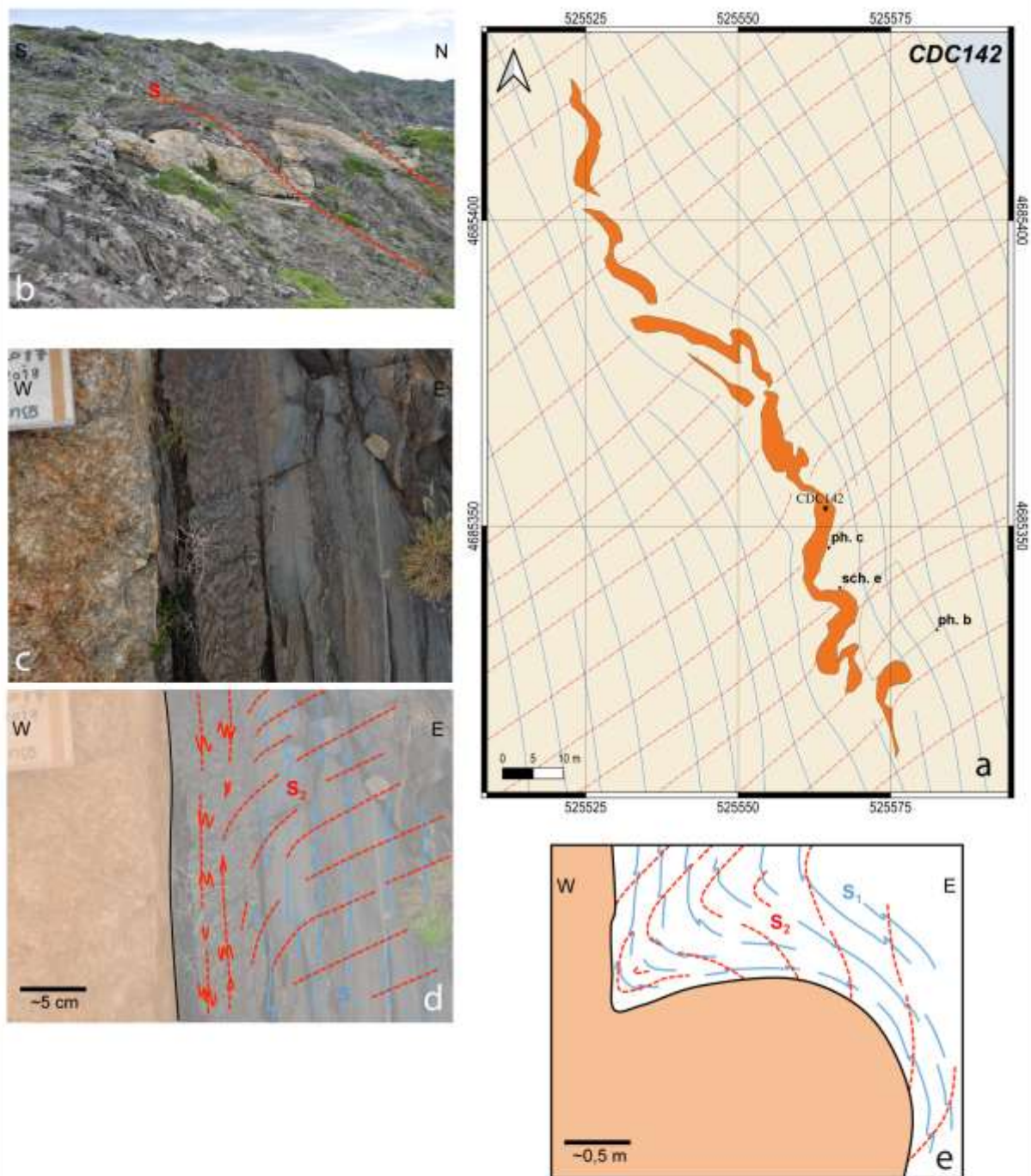
Serrano et al. figure SM3



Serrano et al. figure SM4



Serrano et al. figure SM5



Serrano et al. figure SM6

Chapitre IV : Les pegmatites du Cap de Creus : approche structurale et microstructurale

n°	X	Y	Type	Pegmatite category	Metamorphic zone	Deformation domain	Length	Thickness	Angular departure with Sm	Orientation	S ₀	S1	S2	S3	L2	L3	Deformation mechanism	Recrystallization mechanism	T (°C) of deformation (Microstructures)	T (°C) of deformation (EBSD)	Chronology	
CDC001	524531	4905730	I	Undeformed-layered	S1-Ms	LSD	18	8.8	n.d	N42	N60	N15 75W (Sm)	N25 75NW	n.d	n.d	n.d	n.d	GSS	> 500	Below fold	Late	
CDC002	524558	4905728	I	Undeformed-layered	S1-Ms	LSD	25	8	8	N35 70NW	N40	N15 75W (Sm)	N40 78NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC003	524521	4905741	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	70	1	25	N20	n.d	N15 75W (Sm)	N15 25N (Sm)	n.d	N338 15	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC004	524498	4905739	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	40	13	n.d	N20	n.d	N60 50NW	N78 79N	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC005	524485	4905757	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	15	7	n.d	N100	n.d	N20 75W	N80 75NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC006	524438	4905770	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	4	1	n.d	n.d	n.d	N25 70W	N80 75NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC007	524436	4905758	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	4	1.5	32	N120 85N	n.d	N20 85W	N80 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC008	524390	4905773	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	40	4.5	n.d	N110	n.d	N40 85NW	N40 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC009	524355	4905826	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	20	2	15	N80 90	N80	N60 75NW (Sm)	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC010	524358	4905814	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	28	1.5	13	N80 90	n.d	N60 75NW (Sm)	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC011	524382	4905819	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	3	1.5	15	N80 90	n.d	N60 75NW (Sm)	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC012	524333	4905817	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	10	2.5	15	N80 90	n.d	N60 75NW (Sm)	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC013	524337	4905808	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	10	1.5	15	N80 90	n.d	N60 75NW (Sm)	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC014	524345	4905807	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	10	1.5	15	N80 90	n.d	N60 75NW (Sm)	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC015	524308	4905818	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	7.3	n.d	n.d	N80	n.d	N60 75NW	N70 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC016	524412	4905840	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	5.5	1	n.d	N45	n.d	N25 70NW	N80 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC017	524436	4905853	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	50	2	n.d	N50	n.d	N25 70NW	N80 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC018	524400	4905820	I	Deformed-boudinaged	S1-Ms	LSD	8.5	1.5	n.d	N54	n.d	N25 85W	N55 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC019	524514	4905820	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	11	1.8	n.d	N50	n.d	N25 75W	N50 80NW	N140 60NE	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC020	524530	4905825	I	Deformed-boudinaged	S1-Ms	LSD	6.5	1.5	n.d	N55 75NW	n.d	N20 75W	N80 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC021	524519	4905866	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	3.5	1.5	27	N110 70N	n.d	N10 85W (Sm)	N40 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC022	524518	4905860	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	4.5	1.5	13	N45 85NW	n.d	N10 85W (Sm)	N40 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC023	524508	4905878	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	5	1.5	19	N85 82NW	n.d	N10 85W (Sm)	N40 85NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC024	524553	4906045	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	30	2.5	15	N130 85N	n.d	N25 85N (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC025	524606	4906031	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	13	1	13	N80 60N	n.d	N80 65N (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC026	524633	4906037	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	28	1.5	7	N85 70NW	n.d	N80 65N (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC027	524660	4906047	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	11	1.5	11	N55 85NW	n.d	N80 65N (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC028	524683	4906050	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	20	6	15	N80 55NW	n.d	N80 70NW (Sm)	N160 40SW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC029	524686	4906055	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	15	2.5	10	N80 60NW	n.d	N80 70NW (Sm)	n.d	p-90°E (Gr vein)	n.d	n.d	n.d	GSM	> 500	500 to 650	Undeformed	
CDC030	524674	4906071	I	Undeformed	Myagrite	HSD	7.5	1.5	n.d	N15	n.d	N80 75NW	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC031	524684	4906082	I	Undeformed	Myagrite	HSD	15	10	n.d	N40	n.d	N80 70NW	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Late
CDC032	524677	4906077	I	Sheared by D3	Myagrite	HSD	3	n.d	1	N80	n.d	N80 70NW	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC033	524687	4906033	I	Deformed-boudinaged	Myagrite	HSD	38	1.5	11	N85 60NW	n.d	N80 70NW (Sm)	N160 40SW	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC034	524681	4906014	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	20	10	n.d	N130	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC035	524728	4906015	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	80	7	n.d	N20	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC036	524725	4906040	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	80	13	n.d	N20	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC037	524718	4906073	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	15	1	n.d	N20	n.d	N20 50W	N10 50NW	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC038	523677	4904048	IV	Undeformed	Cor-And	LSD	13	1.5	n.d	N140	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC040	524728	4906128	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	40	1.5	n.d	N180	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC041	524770	4906039	I	Undeformed	Myagrite	LSD	10	0.7	n.d	N80 85SE	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC042	524765	4906106	I	Undeformed	Myagrite	LSD	10	2.5	n.d	N80 90	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC043	524815	4906045	I	Undeformed	S1-Ms	LSD	38	3	n.d	N170 85W	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC045	523311	4905245	II	Deformed-sheared	Cor-And	LSD	98	1.5	10	N115 90	n.d	N20 75W (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC046	523277	4905273	II	Deformed-sheared	Cor-And	LSD	5	2	n.d	N100	n.d	N20 85W	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC047	523255	4905289	II	Deformed-sheared	Cor-And	LSD	11	1	5	N80 90	n.d	N20 85W (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC048	523256	4905286	II	Deformed-sheared	Cor-And	LSD	20	2.5	n.d	N80	n.d	N20 85W	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC049	523294	4905632	II	Undeformed	S1-Ms	LSD	88	4.5	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC051	523301	4905589	II	Undeformed	S1-Ms	LSD	20	2	n.d	N195	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC052	523297	4905586	II	Undeformed	S1-Ms	LSD	20	1.5	n.d	N190	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC053	523245	4905233	II	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	80	2.5	n.d	N120 85NE	n.d	n.d	N120 45NE (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC054	523240	4905062	II	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	40	1	0	N140 41NE	n.d	n.d	N140 40NE (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC055	523179	4905536	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	30	2	20	N80 35NW	n.d	N80 40NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC056	523199	4905562	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	15	2.5	20	N80 35NW	n.d	N80 40NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC057	523210	4905567	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	20	1	n.d	N80	n.d	N80 40NW	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC058	523153	4905448	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	15	1.5	20	N55 55NW	n.d	N80 50NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC059	523141	4905478	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	10	1	11	N50 60NW	n.d	N80 50NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC060	523156	4905458	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	50	4	30	N55 60NW	n.d	N80 50NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC061	523079	4905440	II	Deformed-sheared	S1-Ms	LSD	7	2	30	N80 60NW	n.d	N110 45NE (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Early
CDC062	523041	4905430	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	20	1	12	N130 45NE	n.d	n.d	N130 45NE (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC063	523067	4905413	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	18	2.5	n.d	N100	n.d	n.d	N130 40NE	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC064	522995	4905438	I	Sheared by D3	S1-Ms	LSD	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	N130 40NE	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC065	523073	4905077	II	Sheared by D3	Cor-And	LSD	12	2	34	N190 85NE	n.d	N175 80W (Sm)	n.d	N155 80NE	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC067	523060	4905021	II	Sheared by D3	Cor-And	LSD	10	2	33	N190 85NE	n.d	N175 80W (Sm)	n.d	N155 80NE	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC068	524037	4904936	I	Sheared by D3	Cor-And	LSD	30	2	25	N140 70NE	n.d	N16 75W	n.d	N170 80E (Sm)	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC069	524018	4904962	I	Sheared by D3	Cor-And	LSD	28	1.5	38	N195 50NE	n.d	n.d	N170 80E (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC070	524008	4904943	I	Sheared by D3	Cor-And	LSD	28	1	28	N195 50E	n.d	n.d	N170 80E (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC071	524124	4904840	IV	Sheared by D3	Cor-And	LSD	15	2	5	N80 65NW	n.d	N80 70NW (Sm)	n.d	N145 70NE	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC074	524210	4904770	II	Sheared by D3	Cor-And	LSD	35	4	24	N80 45NW	n.d	n.d	N85 55N (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC075	524128	4904773	I	Sheared by D3	Cor-And	LSD	80	1	80	N15 50W	n.d	N15 40E (Sm)	n.d	N70 90N	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC076	524384	4904785	II	Sheared by D3	Cor-And	LSD	20	1	26	N45 40NW	n.d	N15 40E (Sm)	n.d	N70 90N	n.d	n.d	n.d					Sheared by D3
CDC077	524124	4904886	II	Undeformed	Cor-And	LSD	50	1	32	N175 85W	N175	N45 35NW (Sm)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d					Undeformed
CDC078	52350																					

Chapitre IV : Les pegmatites du Cap de Creus : approche structurale et microstructurale

n°	X	Y	Type	Pegmatite category	Metamorphic zone	Deformation domain	Length	Thickness	Angular departure with S ₀	Orientation	S ₀	S1	S2	S3	L2	L3	Deformation mechanism	Recrystallization mechanism	T (°C) of deformation (Microstructures)	T (°C) of deformation (EBSD)	Chronology
CDC1084	526219	4895373	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	48	1	0	N90°00'	N90°00SE (S ₀)	N90°00SE (S ₁)	N90°00SE (S ₂)	N90°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Late
CDC1085	526209	4895371	1	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	10	0.2	77	N80°15NW	N80°00SE (S ₀)	N80°00SE (S ₁)	N80°00SE (S ₂)	N80°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC109	526317	4894859	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	17	2	48	N85°30NW	N85°00SE (S ₀)	N85°00SE (S ₁)	N85°00SE (S ₂)	N85°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC196	525320	4894847	1	Sheared by D3	Sil-Als	LSD	17	1	8	N120°45NE	N45°00NW (S ₀)	N45°00NW (S ₁)	N45°00NW (S ₂)	N45°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC107	525322	4894869	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	25	3	45	N85°00NW	N85°00NW (S ₀)	N85°00NW (S ₁)	N85°00NW (S ₂)	N85°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC198	525346	4894833	8	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	25	1	45	N135°00SE	N135°00SE (S ₀)	N135°00SE (S ₁)	N135°00SE (S ₂)	N135°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC199	525436	4894779	8	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	20	0.8	11	N15°00SE	N15°00SE (S ₀)	N15°00SE (S ₁)	N15°00SE (S ₂)	N15°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC110	525501	4894717	8	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	12	1	38	N100°00SE	N100°00SE (S ₀)	N100°00SE (S ₁)	N100°00SE (S ₂)	N100°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC111	525716	4894688	8	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	6	1	14	N120°00SW	N120°00SW (S ₀)	N120°00SW (S ₁)	N120°00SW (S ₂)	N120°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC113	527193	4897434	1	Unfolded	Migmatite	HSD	25	3	4.8	N120°00NE	N120°00NE (S ₀)	N120°00NE (S ₁)	N120°00NE (S ₂)	N120°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC117	525304	4895870	1	Deformed-boudinaged	Sil-Als	LSD	27	1	8	N85°00NW	N85°00NW (S ₀)	N85°00NW (S ₁)	N85°00NW (S ₂)	N85°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC118	525021	4895856	1	Deformed-boudinaged	Sil-Als	LSD	30	2	8	N70°00NW	N70°00NW (S ₀)	N70°00NW (S ₁)	N70°00NW (S ₂)	N70°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC128a	525251	4895583	1	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	30	1	26	N45°00NW	N45°00NW (S ₀)	N45°00NW (S ₁)	N45°00NW (S ₂)	N45°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC128b	525045	4895572	1	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	30	1	22	N30°00SW	N30°00SW (S ₀)	N30°00SW (S ₁)	N30°00SW (S ₂)	N30°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC129c	525045	4895589	1	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	12	0.5	22	N10°00SW	N10°00SW (S ₀)	N10°00SW (S ₁)	N10°00SW (S ₂)	N10°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC121	524990	4895843	1	Unfolded	Sil-Als	HSD	50	4	12	N65°00N	N65°00N (S ₀)	N65°00N (S ₁)	N65°00N (S ₂)	N65°00N (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC123	523886	4894734	1	Deformed-shear	Cor-And	LSD	90	0.5 to 1	66	N130°45SW	N130°45SW (S ₀)	N130°45SW (S ₁)	N130°45SW (S ₂)	N130°45SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC124	525115	4895918	8	Unfolded	Cor-And	HSD	n.d.	n.d.	n.d.	N100°00N	N100°00N (S ₀)	N100°00N (S ₁)	N100°00N (S ₂)	N100°00N (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC126	525815	4895428	1	Unfolded	Sil-Als	HSD	50	10	16	N100°00N	N100°00N (S ₀)	N100°00N (S ₁)	N100°00N (S ₂)	N100°00N (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC127	525504	4895448	1	Unfolded	Sil-Als	HSD	20	2	14	N120°00NE	N120°00NE (S ₀)	N120°00NE (S ₁)	N120°00NE (S ₂)	N120°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC128	525814	4895417	1	Unfolded	Sil-Als	HSD	20	1	22	N120°00NE	N120°00NE (S ₀)	N120°00NE (S ₁)	N120°00NE (S ₂)	N120°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC130	525321	4895531	1	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	12	1	45	N20°00SW	N20°00SW (S ₀)	N20°00SW (S ₁)	N20°00SW (S ₂)	N20°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC131	525349	4895559	1	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	20	1	49	N20°00SW	N20°00SW (S ₀)	N20°00SW (S ₁)	N20°00SW (S ₂)	N20°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC132	525344	4895576	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	30	1	43	N160°00SW	N160°00SW (S ₀)	N160°00SW (S ₁)	N160°00SW (S ₂)	N160°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC133	523104	4895129	1	Sheared by D3	Cor-And	LSD	80	3	4	N140°00NE	N140°00NE (S ₀)	N140°00NE (S ₁)	N140°00NE (S ₂)	N140°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC134	522953	4894989	1	Deformed-shear	Cor-And	LSD	90	0.8	38	N100°00SW	N100°00SW (S ₀)	N100°00SW (S ₁)	N100°00SW (S ₂)	N100°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC139	522940	4894988	1	Deformed-shear	Cor-And	LSD	40	0.2	41	N175°00SW	N175°00SW (S ₀)	N175°00SW (S ₁)	N175°00SW (S ₂)	N175°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC136	522906	4894919	1	Deformed-shear	Cor-And	LSD	80	2	28	N130°00SW	N130°00SW (S ₀)	N130°00SW (S ₁)	N130°00SW (S ₂)	N130°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC137	522783	4895031	1	Sheared by D3	Cor-And	LSD	108	2	1	N140°00NE	N140°00NE (S ₀)	N140°00NE (S ₁)	N140°00NE (S ₂)	N140°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC138	523496	4895589	8	Deformed-shear	Cor-And	LSD	45	1	28	N130°00NE	N130°00NE (S ₀)	N130°00NE (S ₁)	N130°00NE (S ₂)	N130°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC139	524001	4895574	8	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	80	1	11	N20°00SW	N20°00SW (S ₀)	N20°00SW (S ₁)	N20°00SW (S ₂)	N20°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC140	524000	4895590	8	Deformed-foliated	Sil-Als	LSD	108	0.2	8	N15°00SW	N15°00SW (S ₀)	N15°00SW (S ₁)	N15°00SW (S ₂)	N15°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC141	523914	4895584	8	Sheared by D3	Sil-Als	LSD	70	1 to 3	n.d.	N168°00	N168°00 (S ₀)	N168°00 (S ₁)	N168°00 (S ₂)	N168°00 (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC142	525962	4895348	1	Unfolded-foliated	Sil-Als	LSD	108	2	n.d.	N150°	N150° (S ₀)	N150° (S ₁)	N150° (S ₂)	N150° (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC143	525102	4895429	1	Sheared by D3	Sil-Als	LSD	80	0.5	18	N141°42NE	N141°42NE (S ₀)	N141°42NE (S ₁)	N141°42NE (S ₂)	N141°42NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC144	523738	4895337	1	Sheared by D3	Sil-Als	LSD	80	7	25	N154°00	N154°00 (S ₀)	N154°00 (S ₁)	N154°00 (S ₂)	N154°00 (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC145	526248	4895299	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	80	5	n.d.	N100°	N100° (S ₀)	N100° (S ₁)	N100° (S ₂)	N100° (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC146	523348	4894810	8	Unfolded	Cor-And	LSD	n.d.	n.d.	n.d.	N172°00SE	N172°00SE (S ₀)	N172°00SE (S ₁)	N172°00SE (S ₂)	N172°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC147	523984	4894857	8	Unfolded	Cor-And	LSD	n.d.	n.d.	n.d.	N172°00SE	N172°00SE (S ₀)	N172°00SE (S ₁)	N172°00SE (S ₂)	N172°00SE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC148	525360	4895874	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	80	7	12	N80°00	N80°00 (S ₀)	N80°00 (S ₁)	N80°00 (S ₂)	N80°00 (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC149	525230	4895196	1	Unfolded	Sil-Als	LSD	80	n.d.	45	N80°00	N80°00 (S ₀)	N80°00 (S ₁)	N80°00 (S ₂)	N80°00 (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC150	5251761	4895616	1	Deformed-boudinaged	Sil-Als	HSD	70	1.5	15	N85°00NW	N85°00NW (S ₀)	N85°00NW (S ₁)	N85°00NW (S ₂)	N85°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC151	524988	4895843	1	Deformed-boudinaged	Sil-Als	HSD	35	1.5	7	N85°00NW	N85°00NW (S ₀)	N85°00NW (S ₁)	N85°00NW (S ₂)	N85°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC152	524984	4895852	1	Deformed-boudinaged	Sil-Als	HSD	24	1.5	8	N70°00NW	N70°00NW (S ₀)	N70°00NW (S ₁)	N70°00NW (S ₂)	N70°00NW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC153	523757	4895585	8	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	138	5	30	N30°00SW	N30°00SW (S ₀)	N30°00SW (S ₁)	N30°00SW (S ₂)	N30°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC154	523910	4895583	1	Deformed-shear	Sil-Als	LSD	80	2	29	N20°00SW	N20°00SW (S ₀)	N20°00SW (S ₁)	N20°00SW (S ₂)	N20°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC155	523827	4895649	8	Sheared by D3	Sil-Als	LSD	35	4	8	N70°00SW	N70°00SW (S ₀)	N70°00SW (S ₁)	N70°00SW (S ₂)	N70°00SW (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC156	525913	4895752	1	Sheared by D3	Sil-Als	LSD	n.d.	n.d.	n.d.	N125°00NE	N125°00NE (S ₀)	N125°00NE (S ₁)	N125°00NE (S ₂)	N125°00NE (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded
CDC157	524505	4895190	1	Unfolded-layered	Migmatite	HSD	228	-15	55	N80°15N	N80°15N (S ₀)	N80°15N (S ₁)	N80°15N (S ₂)	N80°15N (S ₃)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	400 to 500	400 to 500	Unfolded

Summary Table 1M1

	MS	PEG	units
specific heat	980	1100	J*kg-1*K-1
conductivity	3,5	1,5	W*m-1*K-1
density	2700	2300	kg*m-3
latent heat of crystallization	0	320000	J*kg-1
crystallisation interval		60	°C
solidus temperature		640	°C
injection temperature		700	°C

durée (années) pour atteindre le solidus au milieu du filon

		pegmatite thickness (m)			
wallrocks T(°C)		0,1	1	10	100
630		0,03	3,1	310	31000
600		0,003	0,3	33	3290
500		0,0005	0,06	6	616
400		0,00033	0,034	3,4	336

duration to reach full crystallization at the middle of the dyke

Serrano et al. Table SM2

V. Chapitre V : Données géochimiques des pegmatites du Cap de Creus

Partie 1. Pétrologie des pegmatites du Cap de Creus

1. Introduction

L'étude structurale approfondie des pegmatites du CdC et de leurs encaissants effectuée au cours de cette thèse a permis de mettre en évidence la coexistence de deux champs de pegmatites (cf. Chapitre IV). En effet, il a clairement été établi qu'une faible proportion des pegmatites de type I (i.e. pegmatites précoces) ainsi que les pegmatites de type II, III et IV appartiennent à un même champ. Alors que les autres pegmatites de type I (i.e. pegmatites intermédiaires et tardives), représentant la majorité des pegmatites du CdC, sont issues d'un autre champ chronologiquement bien distinct (Fig. V-1).

Sur ces observations, des études pétrologiques et géochimiques approfondies ont été réalisées afin de voir si ces deux champs possèdent des caractéristiques similaires (e.g. source), ou s'ils sont significativement différents. Egalement, ces études ont été effectuées dans le but d'observer les différents liens génétiques pouvant exister entre les différents types de pegmatites.

Au cours de ces travaux, les pegmatites de type I ont été classées en deux sous-familles : les pegmatites de type I-a correspondant aux *pegmatites précoces* de type I, et les pegmatites de type I-b correspondant aux *pegmatites intermédiaires et tardives* de type I.

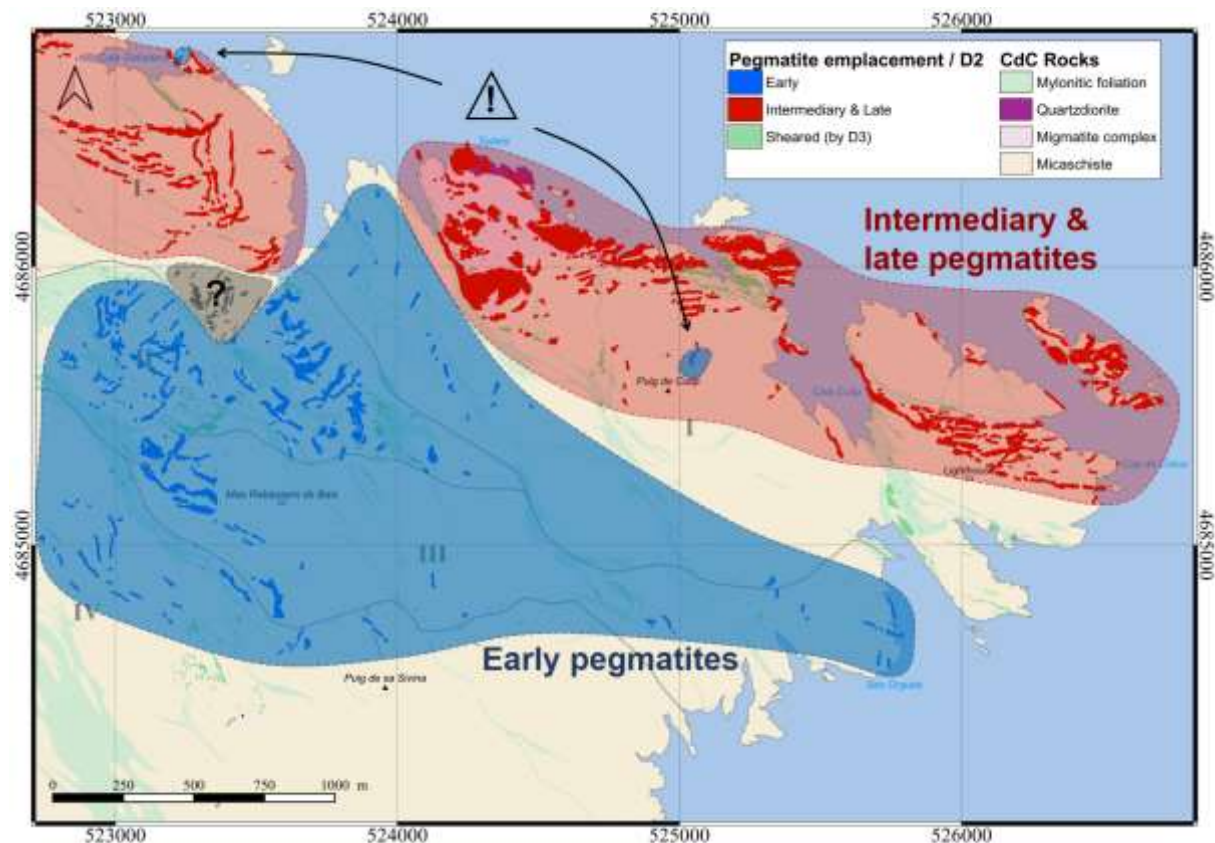


Fig. V-1 : Carte géologique du Cap de Creus montrant les pegmatites précoces (en bleu) et les pegmatites intermédiaires et tardives (en rouge) à l'évènement de déformation D2.

2. Tendances générales

Au Cap de Creus, une majorité des pegmatites présentent des caractéristiques texturales similaires. Seules les pegmatites de type I-a et les pegmatites litées de Tudela présentent des textures bien distinctes du reste (détaillées dans les parties « 3. Type I-a » et « 4. Type I-b » respectivement). Les pegmatites de type I-b, II, III et IV présentent généralement une zonation minéralogique « classique » avec une zone de bordure à texture granitique, régulièrement aplitique, une 1^{ère} zone intermédiaire à grains moyens ($< 10^{\text{aine}}$ cm), une 2^{ème} zone intermédiaire à gros grains (jusqu'à 30 cm pour les feldspaths des pegmatites de type I-b) et un cœur de quartz (Fig. V-2). Bien que présente des pegmatites de type I-b jusqu'aux pegmatites de type IV, c'est au sein des pegmatites de type I-b que cette zonation est la plus développée, avec des cœurs de quartz de plus d'un mètre d'épaisseur. Dès les pegmatites de type II, les zonations minéralogiques deviennent beaucoup moins développées et les cœurs de quartz sont régulièrement absents.

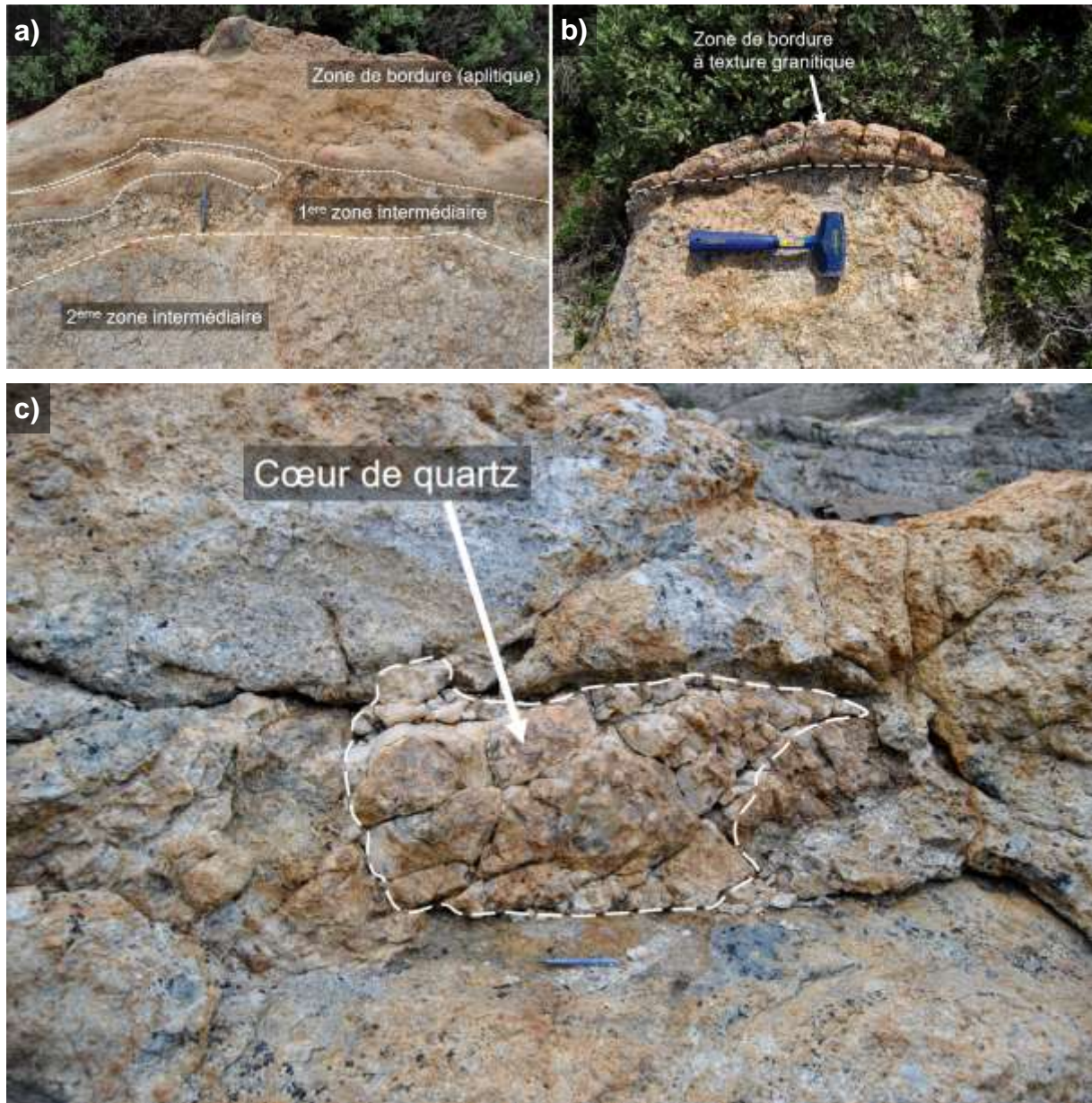


Fig. V-2 : Textures générales caractérisant les pegmatites du Cap de Creus. a) Zonation minéralogique dite « classique ». b) Texture granitique de la zone de bordure. c) Cœur de quartz relativement bien développé.

Egalement, l'ensemble de ces pegmatites présentent régulièrement des zones aplitiques (Fig. V-3). D'une taille maximale de plusieurs dizaines de centimètres, elles sont composées majoritairement de quartz et feldspaths (taille minéralogique < cm), et peuvent présenter des abondances variables en tourmaline et / ou grenat. Ces aplites peuvent être litées (Fig. V-3b) et leur distribution au sein de la pegmatite est relativement aléatoire.

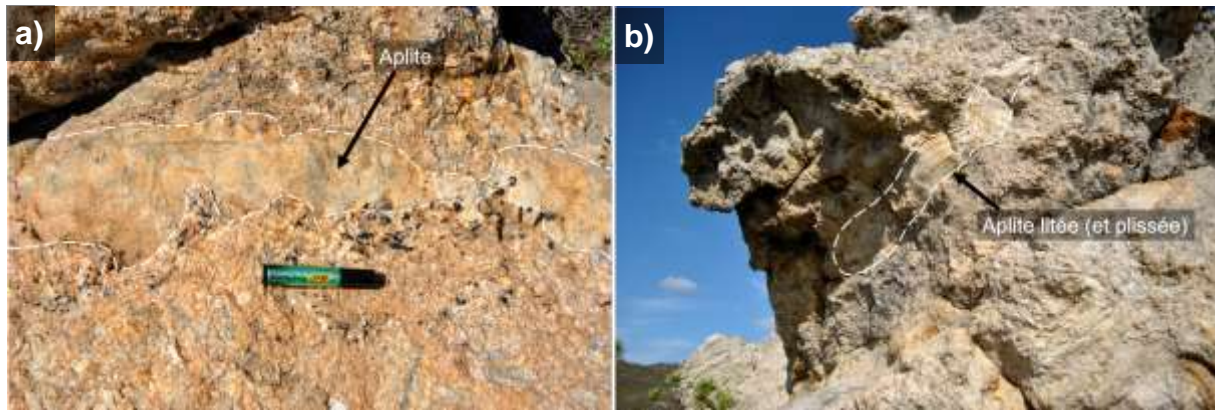


Fig. V-3 : Textures générales caractérisant les pegmatites du Cap de Creus. a) Aplite au sein d'une pegmatite de type I et caractérisée par des tourmalines au contact, sud de la zone de Tudela. b) Aplite litée d'une pegmatite de type III, sud du mas Rabassers de Baix.

Selon le minéral auquel on s'intéresse, les pegmatites du Cap de Creus présentent des variations d'abondances relatives plus ou moins importantes (Fig. V-4 et 5). Si la totalité des pegmatites sont majoritairement composées de quartz et de feldspaths, avec une diminution du feldspath potassique et une augmentation des plagioclases du nord au sud (du type I au type IV, Alfonso *et al.*, 2003) toutes les pegmatites ne présentent pas les mêmes abondances relatives en minéraux accessoires (< 5%). Du nord au sud -des types I au type IV- les pegmatites montrent une abondance relative en grenat, tourmaline, cordiérite (et sillimanite) et biotite décroissante, et une abondance relative en muscovite croissante (Fig. V-4). Les phosphates primaires (magmatiques) n'apparaissent qu'à partir du type II et leur abondance augmente drastiquement des pegmatites de type II aux pegmatites de type III, pour être maximal dans les pegmatites de type IV. On peut noter également que seules la tourmaline et la muscovite sont présentes sur la totalité des pegmatites du champ. La biotite est présente que dans les pegmatites de type I-b. Et l'abondance du grenat et de la cordiérite est très élevée dans les pegmatites de type I-b et chute brutalement dès les pegmatites de type II, pour disparaître complètement des pegmatites de type III et IV.

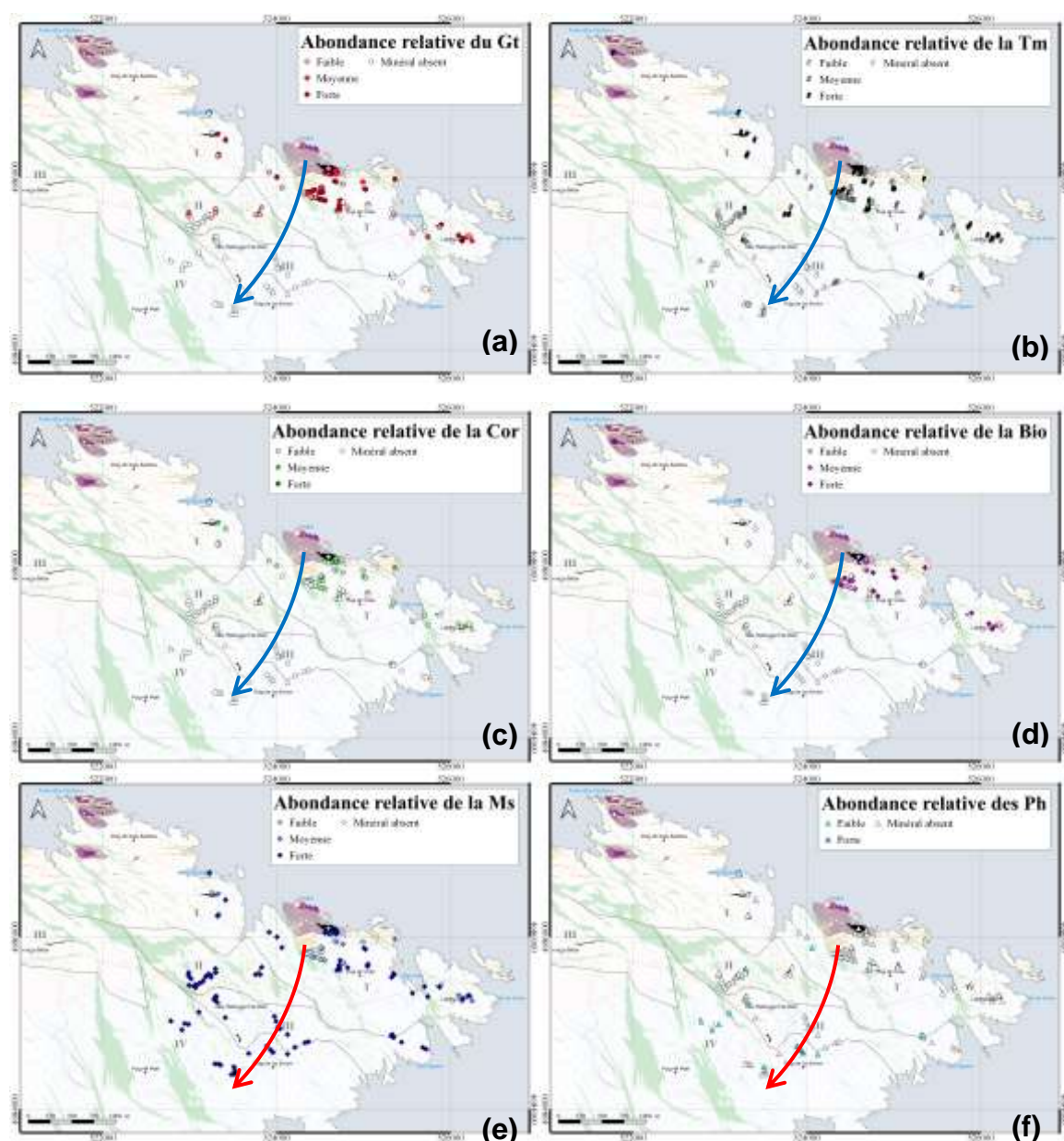


Fig. V-4 : Abondances relatives des minéraux les plus communs des pegmatites du Cap de Creus : a) Grenat ; b) Tourmaline ; c) Cordiérite ; d) Biotite ; e) Muscovite ; f) phosphates (primaires magmatiques).

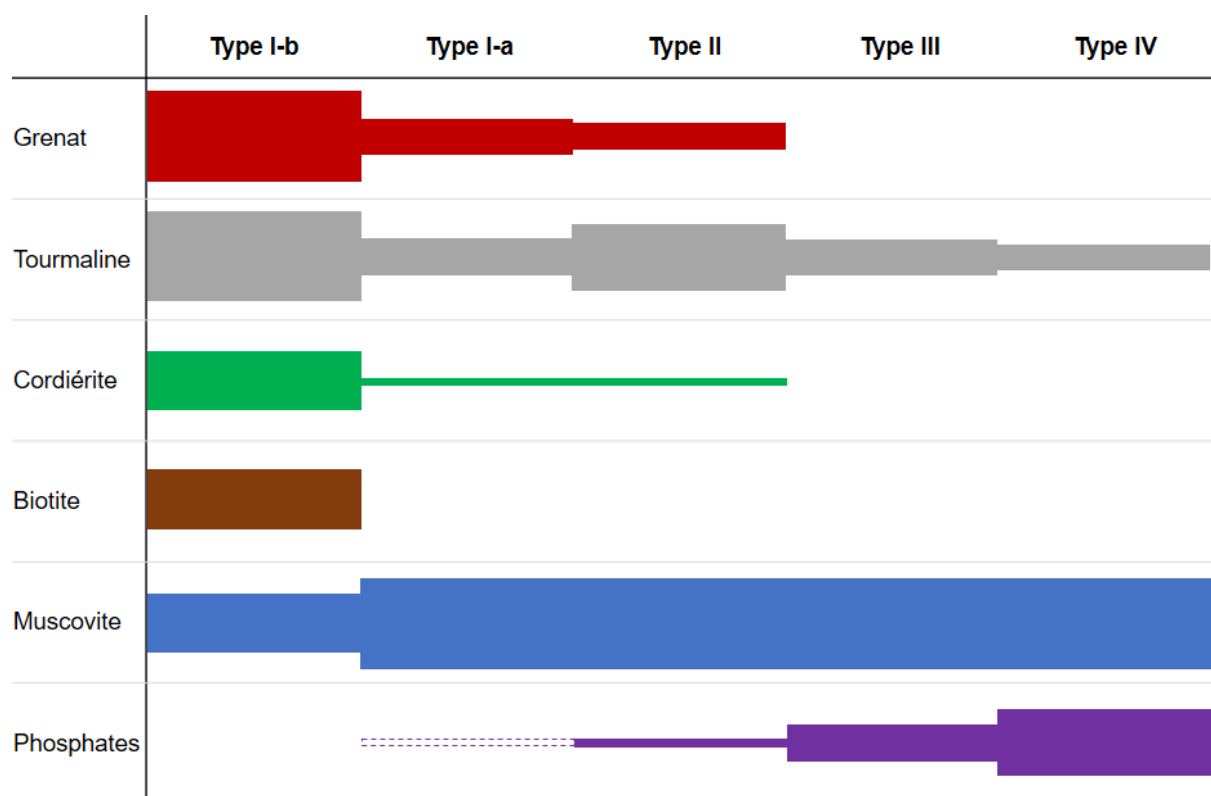


Fig. V-5 : Abondance minéralogique relative en fonction des différents types de pegmatites du Cap de Creus.

3. Type I-a

Une très faible proportion des pegmatites de type I se distinguent clairement du reste des pegmatites faiblement évoluées, aussi bien d'un point de vue structurale (pegmatites « précoces » dans le Chapitre IV), que texturale et pétrologique. Au total, 4 pegmatites (CDC 095, 120, 139 et 140) ont été clairement identifiées comme pegmatites de type I-a (Fig. V-6 et 7), mais il est fort probable qu'un nombre plus conséquent de ces corps soient présents. Ces pegmatites sont caractérisées par une minéralogie dominée par le quartz, les feldspaths et la muscovite (Fig. V-6b). De la tourmaline et du grenat peuvent être également présent en faible proportion, et la biotite est systématiquement absente. Parmi ces 4 corps, une pegmatite (CDC139) présente également des minéralisations en phosphates primaires (lazulite). Egalement, une des caractéristiques récurrentes est l'absence de zonation minéralogique classique aux pegmatites. De plus, la taille des minéraux est globalement homogène (quelques cm) sur l'ensemble du corps et le cœur de quartz est absent. Enfin ces pegmatites n'excèdent pas 1m d'épaisseur, et aucunes textures typiques des pegmatites (e.g. texture graphique) n'a été observées.

On peut noter dès à présent que ces pegmatites pourraient être assimilées à des pegmatites de type II cependant, du fait de leur localisation (zone des pegmatites de type I) et de leur très faible taux de minéralisation (uniquement caractérisé par de la lazulite dans une pegmatite), ces pegmatites font parties des pegmatites les plus primitives du CdC (cf. V.2. Géochimie des pegmatites).



Fig. V-6 : Sous-familles des pegmatites de type I-a. a et b) Pegmatites de type I-a caractérisées par une minéralogie à quartz-feldspaths-muscovite et une texture relativement homogène.

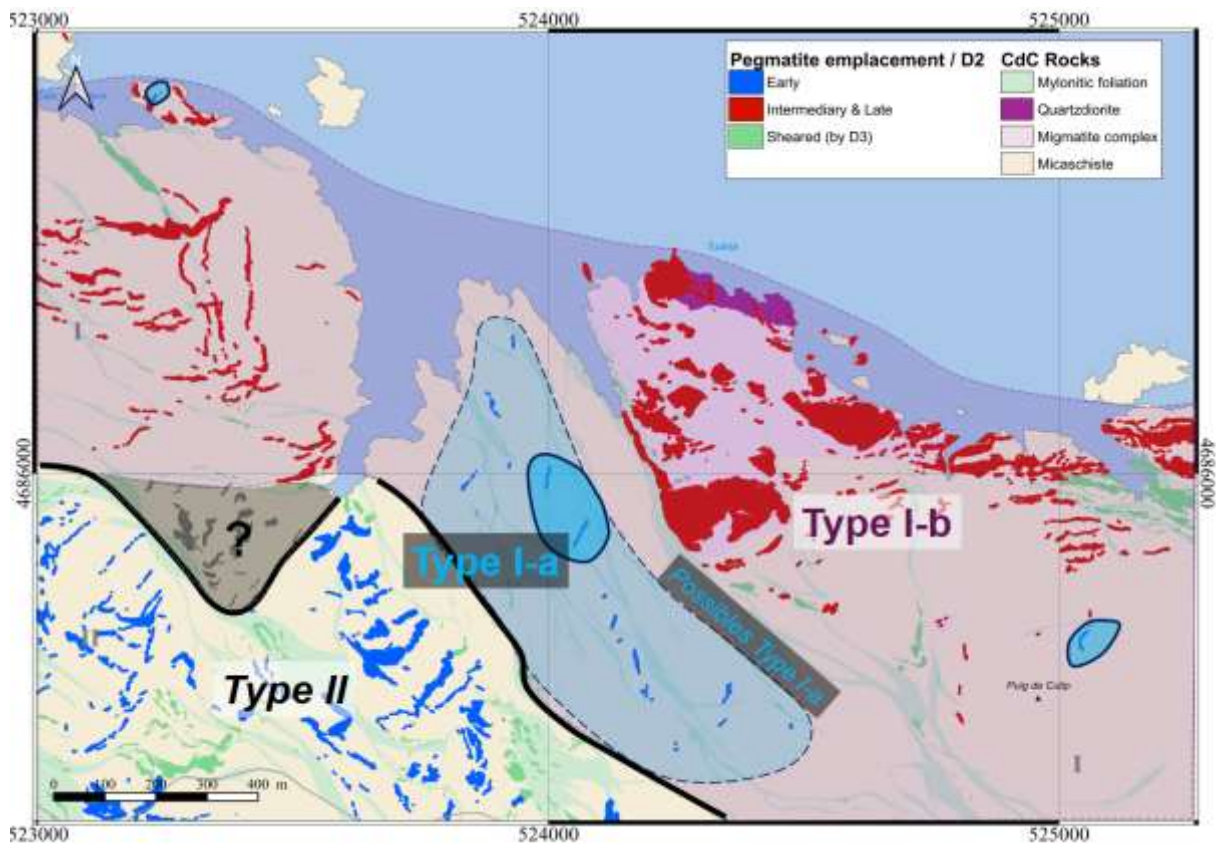


Fig. V-7 : Localisation des pegmatites de type I-a au sein des pegmatites de type I-b.

4. Type I-b

Les pegmatites de type I-b sont les plus majoritaires au CdC et sont les pegmatites possédant la plus grande variété de minéraux majeurs (Fig. V-5). En plus du quartz et des feldspaths (alcalin et plagioclases), un même corps peut être composé de tourmaline, cordiérite, sillimanite, biotite, muscovite et grenat (Fig. V-8). De plus, ces dernières sont les pegmatites présentant la plus grande taille minéralogique, avec des feldspaths de plusieurs dizaines de centimètres ou encore des tourmalines pouvant atteindre une 20^{aine} de centimètres. Les micas peuvent être sous forme d'amas ou bien présenter des textures squelettiques (Fig. V-8e et f), et de nombreux fronts de cristallisation, composés généralement de tourmaline et de grenat, sont observés (Fig. V-8g). Egalement, de nombreuses textures graphiques (inter-croissance quartz-feldspath) caractérisent les pegmatites de type I-b, textures typiques des pegmatites faiblement évoluées (Fig. V-8h). Enfin, la quasi-totalité de ces corps présentent une zonation minéralogique classique (décrite en détail dans la partie V.1.2. Tendances générales), et lorsqu'elle est absente (Fig. V-9), seule la grande variabilité de la taille minéralogique ainsi que la présence des textures graphiques et squelettiques permettent d'identifier ces objets comme des pegmatites (ou des granites à texture pegmatitique).



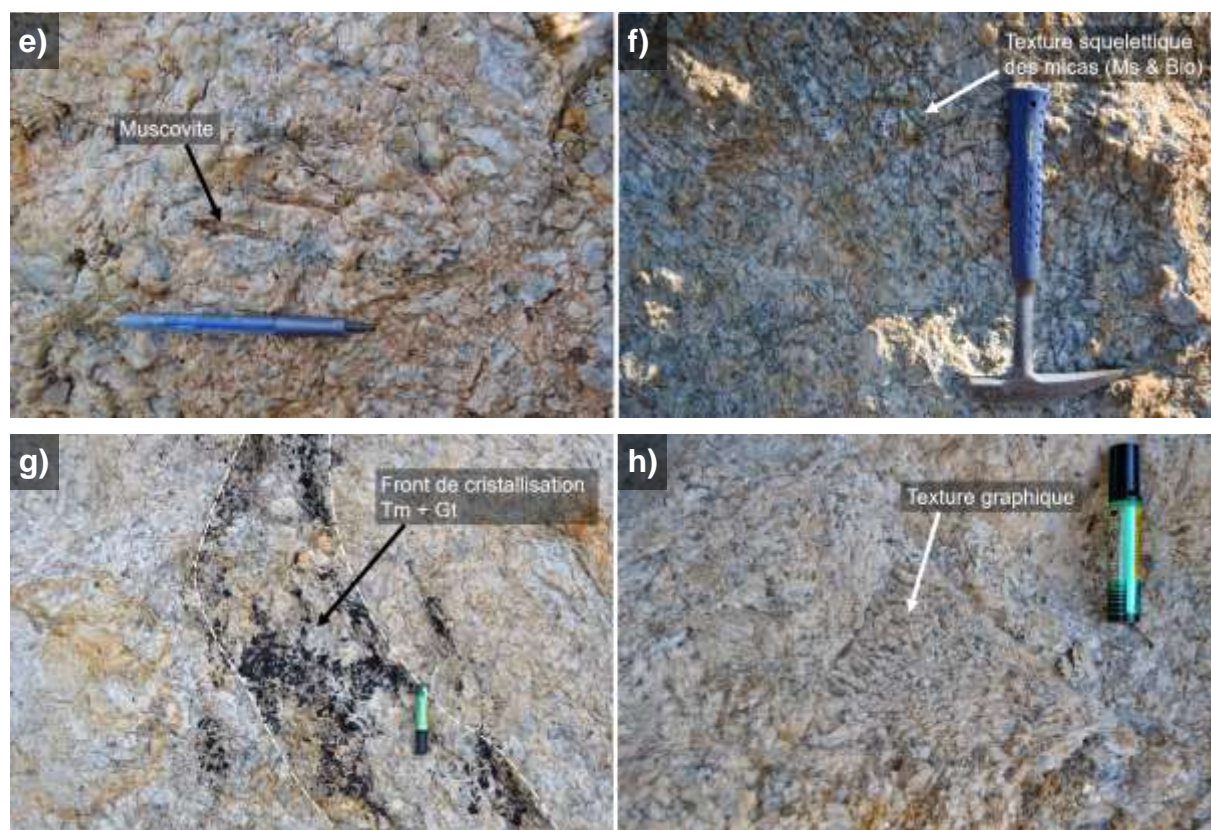


Fig. V-8 : Pétrologie et minéralogie des pegmatites de type I. a) Tourmaline, b) Cordiérîte, c) Sillimanite, d) Sillimanite + biotite, e) Muscovite. f, g et h) Textures caractéristiques des pegmatites de type I. Sil = sillimanite ; Qz = quartz ; Bio = biotite ; Ms = muscovite ; Tm = tourmaline ; Gt = grenat.



Fig. V-9 : Pegmatites de type I-b. Lorsque la zonation minéralogique est absente, elles peuvent être considérées comme des pegmatites granitiques.

Les plus gros corps au sein des pegmatites de type I-b présentent des caractéristiques singulières. Situées dans la zone de Tudela (Fig. V-10), trois pegmatites se distinguent d'un point de vue texturale. Dépourvues de zonations minéralogiques classiques que l'on retrouve habituellement dans les pegmatites du Cap de Creus, ces pegmatites sont les corps les plus volumineux que l'on peut observer, avec plusieurs centaines de mètre de longueur pour plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. En plus de leur taille, une grande particularité de ces pegmatites est qu'elles présentent un litage magmatique caractéristique (Fig. V-10b). Ce dernier se compose d'une succession de lits plus ou moins enrichis en grenat (Fig. V-10d) dont le rythme d'apparition varie aléatoirement au sein de la pegmatite. Egalement ces pegmatites présentent des indices de formation par injections successives comme le montre les lambeaux de micaschistes emprisonnés entre les différents lits (Fig. V-10e).

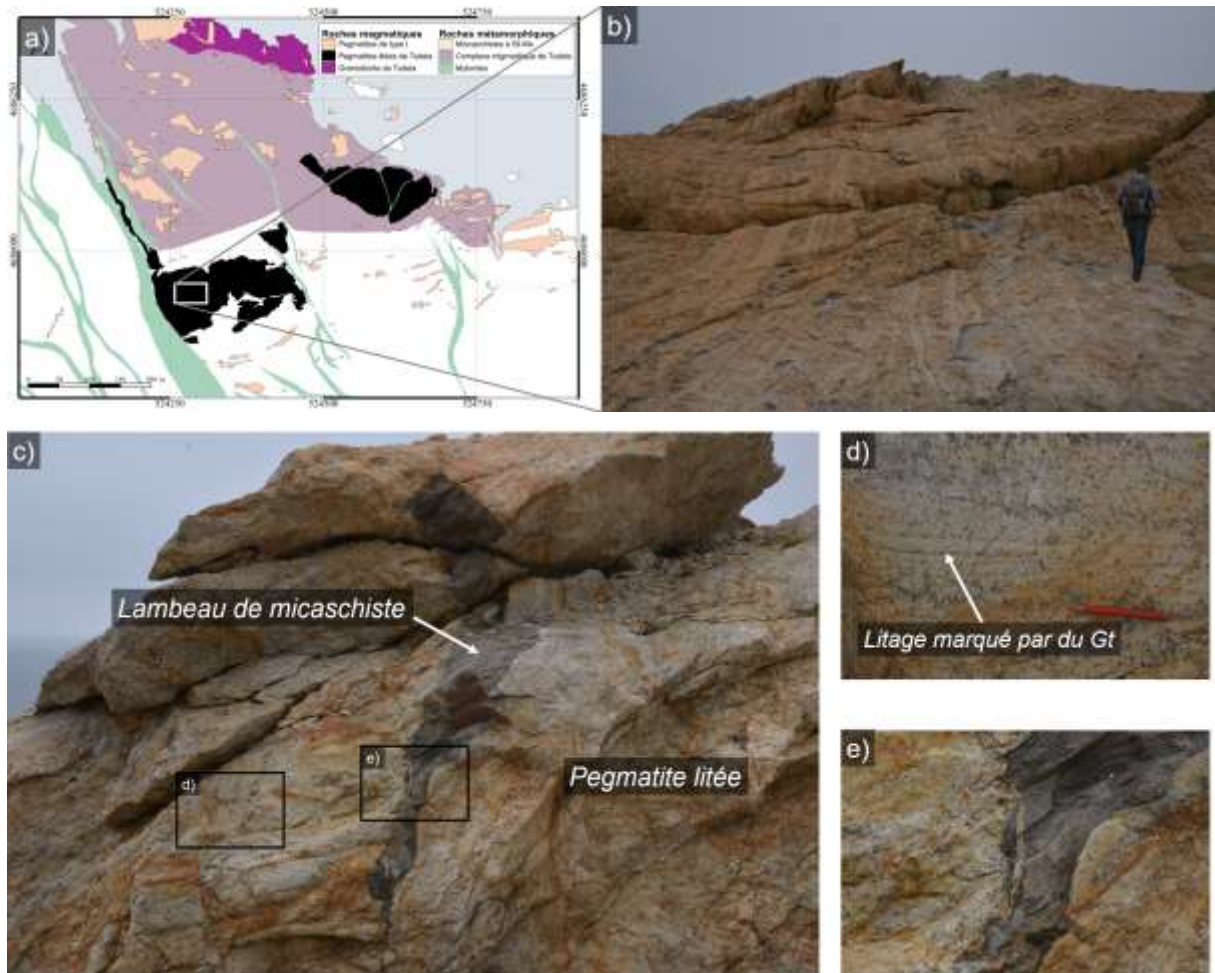


Fig. V-10 : a) Carte de localisation des pegmatites litées de Tudela. b) Photo de terrain montrant le litage magmatique des pegmatites litées de Tudela. c) Lambeau de micaschiste emprisonné dans une pegmatite litée. d) zoom sur le litage magmatique marqué par l'alignement de grenat. e) zoom sur le lambeau de micaschiste montrant le caractère intrusif de la pegmatite.

5. Type II

Des pegmatites de type I aux pegmatites de type II la minéralogie dominante se simplifie avec la disparition des aluminosilicates (sillimanite et cordiérite) et de la biotite, au profit de la muscovite. Une des caractéristiques principales de ces pegmatites est également l'apparition de phosphates rares (e.g. la lazulite, phosphate d'aluminium) (Fig. V-11a) et l'augmentation de l'abondance de minéraux porteur de métaux rares (e.g. apparition du béryl). Une grande partie de ces pegmatites montrent encore une structure interne classique (zone de bordure, 1^{ère} et 2^{ème} zone intermédiaire et cœur de quartz), mais un nombre relativement croissant de pegmatites montrent des textures plus simples, avec une structure interne et une minéralogie relativement homogène. Les textures graphiques ont disparu mais les zones d'aprites (Fig. V-11b) et les fronts de cristallisation restent fréquents. Enfin, on peut noter le développement de zones d'albitisation (dissolution du plagioclase = cristallisation de quartz + muscovite), zones dans lesquelles les minéralisations peuvent se concentrer.



Fig. V-11 : a) Apparition des phosphates primaires magmatiques (issus de la cristallisation du liquide pegmatitique) dans les pegmatites de type II. Ici, un des phosphates les plus communs au Cap de Creus, la lazulite, un phosphate d'aluminium. b) Aprite riche en tourmaline au sein d'une pegmatite de type II.

6. Type III

Les pegmatites de type III, beaucoup moins abondantes que les pegmatites de type I-b et II, sont caractérisées par une forte augmentation de l'abondance des minéraux accessoires. La diversité des phosphates rares et des minéraux porteurs de métaux rares augmente clairement tout comme leur taille (jusqu'au cm). Il est ainsi possible d'observer sur le terrain des minéraux tels que le béryl, le chrysobéryl, la cassitérite, la colombo-tantalite ou encore divers phosphates d'Al-Fe-Mn (Fig. V-12). Bien que l'on retrouve encore des pegmatites

texturalement zonées, une grande partie d'entre elles présentent des textures (taille de grains autour du cm) et une minéralogie (quartz - plagioclases - muscovite) relativement homogène. Les textures de remplacement (zones d'albitisation) deviennent également plus fréquentes. On peut noter également que parmi ces pegmatites, une d'entre elles (CDC124) présente des minéralisations exceptionnelles, avec des béryls de très grande taille (Fig. V-12c), des cassitérites et colombo-tantalites pluri-centimétriques, ou encore du quartz fumé.

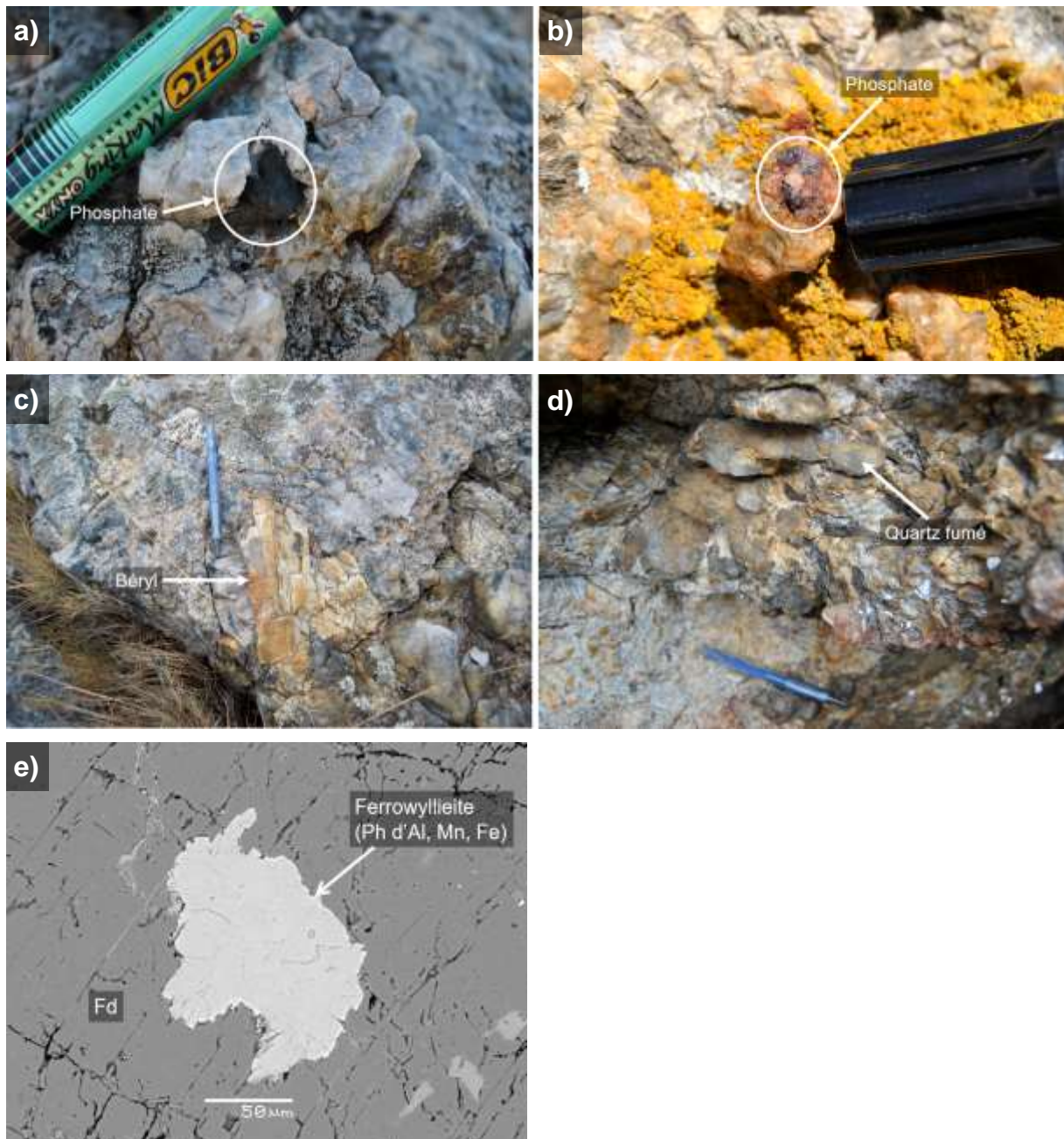


Fig. V-12 : Forte augmentation de l'abondance des phosphates et des minéraux porteurs de métaux rares dans les pegmatites de type III. a et b) Phosphates d'Al-Fe-Mn. c) Minéral pluri-centimétrique de béryl. d) Quartz fumé attestant du caractère évolué des pegmatites de type III. e) Image MEB d'un phosphate d'Al-Fe-Mn, ici la Ferrowyllite.

7. Type IV

Les pegmatites de type IV sont peu abondantes au CdC avec environ une 30^{aine} de corps. Se sont également les pegmatites les plus enrichies en phosphates rares et minéraux riches en métaux rares (i.e. colombo-tantalite, cassitérite) (Fig. V-13 et 14). Tout comme les pegmatites de type III, quelques une d'entre elles sont classiquement zonées (zone de bordure, 1^{ère} et 2^{ème} zone intermédiaire et cœur de quartz), tandis que d'autres sont texturalement et minéralogiquement homogène. Egalement, une des caractéristiques de ces pegmatites est l'apparition de veines tardives à phosphates (Fig. V-13d), mais également la forte abondance de zones de remplacement (d'albitisation) (Fig. V-13e), avec plus de 90 % de zones de remplacement observé dans une pegmatite (CDC123). Ces zones fortement minéralisées (Fig. V-13c) se développent de manière aléatoire dans la pegmatite.

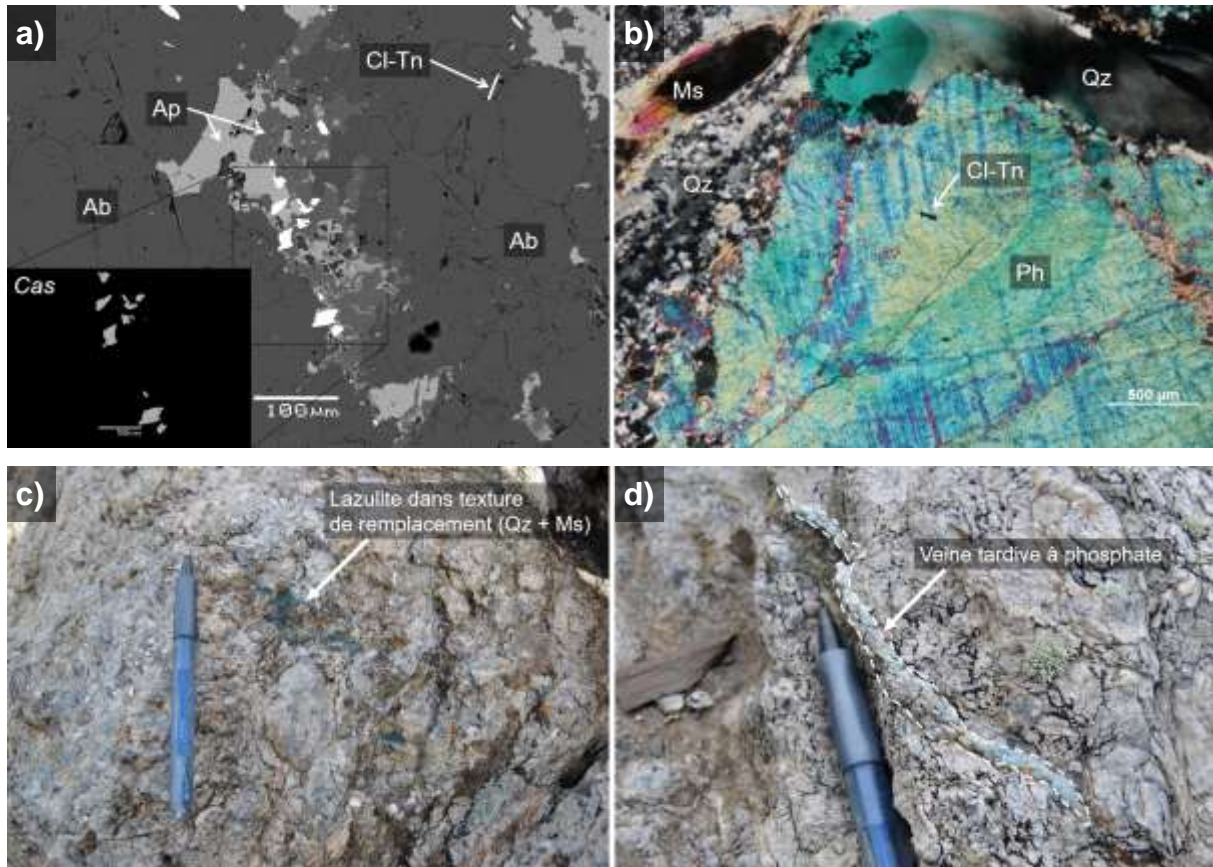




Fig. V-13 : Observations en microscopie a) électronique (MEB) et b) optique (lumière polarisée analysée) d'une pegmatite de type IV riche en phosphates et minéraux porteurs de métaux rares. c) texture de remplacement (albitisation) minéralisée. d) veine tardive de phosphate (apatite). e) Photo de terrain d'une pegmatite de type IV caractérisée par une surabondance de zones de remplacements.

Cassitérite d'une pegmatite de type IV

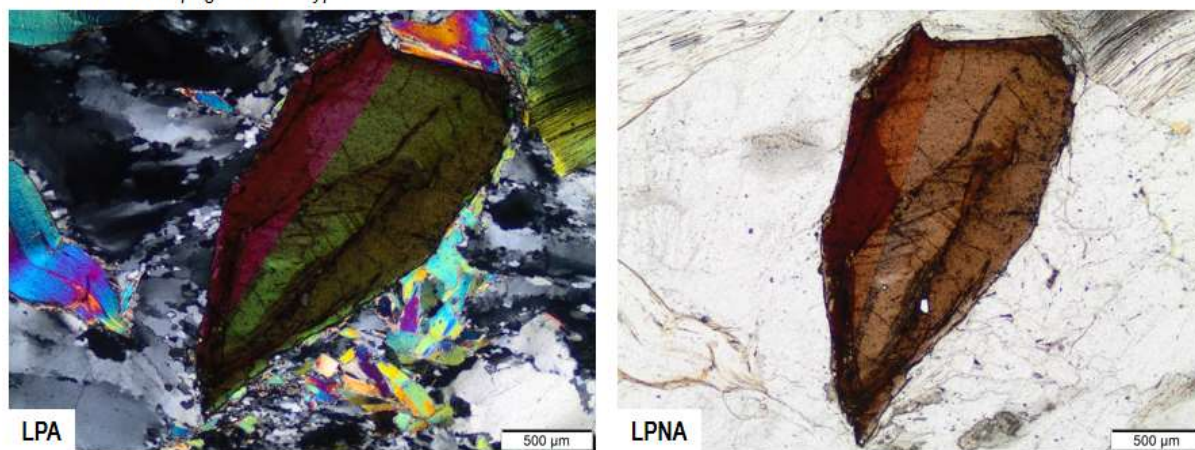


Fig. V-14 : Cassitérite pluri-millimétrique d'une pegmatite de type IV.

8. Vers une nouvelle classification des pegmatites du CdC

L'étude pétrologique et minéralogique des pegmatites du CdC, couplée aux données structurales a permis d'identifier des caractéristiques communes mais également des hétérogénéités existant aussi bien entre chaque type de pegmatite, qu'entre différents corps du même type. Ces travaux ont permis d'affiner la classification des pegmatites établie par Corbella i Cordomi and Melgarejo, (1993), notamment avec l'identification de sous-familles au sein des pegmatites les moins évoluées (type I). Ces distinctions ont été établies selon des critères structuraux (cf. Chapitre IV), texturaux et pétrologiques avec d'un côté, i) les pegmatites de type I-a caractérisées par une minéralogie simple (dominée par la muscovite) et une structure interne relativement homogène, et de l'autre ii) les pegmatites de type I-b présentant une grande variabilité minéralogique ainsi qu'une zonation minéralogique développée, typique des pegmatites. Les pegmatites de type I-b sont de loin les plus abondantes, et au sein de ce type se distinguent 3 pegmatites, (du fait de leur énorme taille mais également de leur litage magmatique atypique) : les pegmatites litées de Tudela.

Partie 2. Géochimie des pegmatites

1. Introduction

A l'heure actuelle, très peu d'études géochimiques sur les pegmatites du Cap de Creus ont été produites. La majorité d'entre elles se sont concentrées sur l'évolution interne des différents fluides (silicatés et aqueux) à l'origine des minéralisations, en s'appuyant sur l'étude d'inclusions fluides (Alfonso and Melgarejo, 2003, 2008). Seule l'étude d'Alfonso *et al.*, (2003) nous renseigne sur la nature géochimique des minéraux (feldspaths et muscovite) et s'intéresse aux processus de fractionnement magmatique à l'origine de la formation des pegmatites.

Une des premières observations en microscopie optique fut que la muscovite, minéral omniprésent au Cap de Creus, se présentait sous différentes textures dans la totalité des roches du CdC dont les pegmatites, exprimant ainsi différentes origines (Fig. V-15). Une partie des muscovites sont caractérisées par des textures magmatiques primaires, i.e. en inter-croissance avec les minéraux majeurs constituants (quartz, feldspaths) (Fig. V-15a), tandis que d'autres présentent des textures hydrothermales / métamorphiques secondaires, i.e. sous forme de zones et / ou de veines d'altération micacées (Fig. V-15b). Egalement, les observations en microscopie électronique (MEB) ont révélé que la totalité des pegmatites du Cap de Creus présentent des minéralisations en P, majoritairement sous forme d'apatite.

Les différentes origines de ces textures / minéralisations sont présentées en détails dans la « partie 3. Processus primaires vs secondaires de cristallisation ».

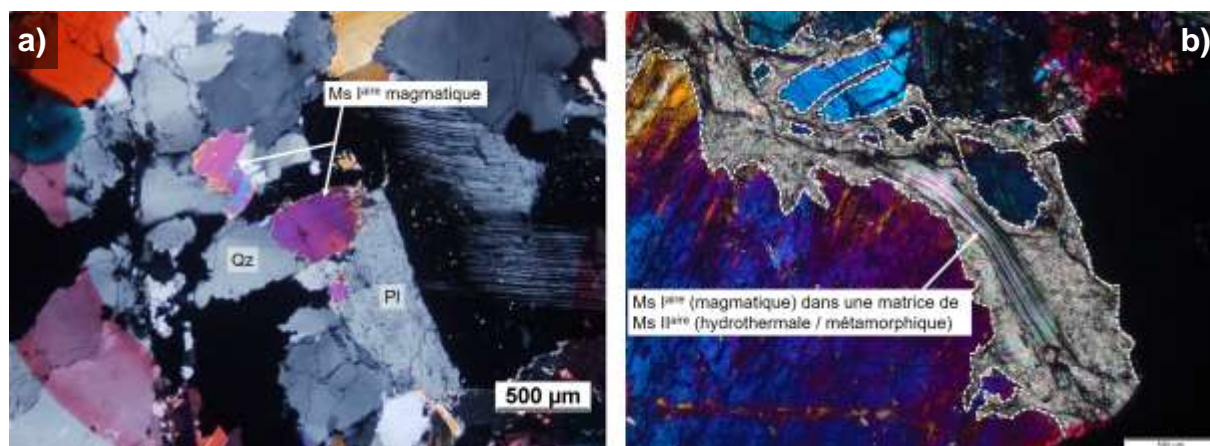


Fig. V-15 : Textures caractéristiques des muscovites des pegmatites du Cap de Creus. a) Muscovites en intercroissances avec les minéraux majeurs constituants (quartz, feldspaths) montrant une texture de cristallisation primaire (magmatique). b) Muscovites interstitielles aux minéraux majeurs dominants (quartz, feldspaths) montrant une texture de cristallisation secondaire. Qz = quartz ; Pl = plagioclase.

2. Muscovite

Les micas sont des minéraux omniprésents dans les environnements peralumineux, et leur géochimie reflète fortement les variations géochimiques qui prédominent lors de leur cristallisation du fait de leur structure qui peut accueillir un grand nombre de types de cations. Alors que la composition en éléments majeurs et traces permet de mieux comprendre le degré de différenciation des corps pegmatitiques, e.g., grâce à des indicateurs de différenciation tels que K / Rb (Cerny *et al.*, 1985) ou Rb / Cs, la composition en éléments traces permet également de tracer des phénomènes secondaires (e.g. phénomènes hydrothermaux), d'établir des liens génétiques ou encore d'obtenir la teneur en métaux rares dans le liquide. En effet, la plupart des métaux rares ont des coefficients de partition mica-liquide > 1 (Stepanov *et al.*, 2014).

Au Cap de Creus, les pegmatites sont caractérisées par une surabondance en muscovite par rapport à la biotite. Seules les pegmatites de type I-b présentent de la biotite à des proportions variables (cf. V.1. Pétrologie des pegmatites du Cap de Creus). C'est pourquoi dès le début de ma thèse, mes travaux géochimiques se sont orientés principalement sur la muscovite. Des analyses préliminaires ont été faites sur les biotites des roches encaissantes de la zone -micaschiste, granodiorite, filon leucogranitique et veine de quartz- et seront présentées par la suite (cf. VI. Pétrogéochimie des roches encaissantes [...]).

Pour rappel, une des premières observations fut que la muscovite se présentait sous différentes textures dans la totalité des roches du Cap de Creus dont les pegmatites, exprimant ainsi différentes origines. Une partie des muscovites sont caractérisées par des textures magmatiques primaires, i.e. en inter-croissance avec les minéraux majeurs constituants (quartz, feldspaths), tandis que d'autres présentent des textures hydrothermales / métamorphiques secondaires, i.e. sous forme de zones et / ou de veines d'altération micacées (Fig. V-15). Les phénomènes secondaires (hydrothermalisme / métamorphisme) n'affectant significativement que les éléments traces (< 1% poids), la distinction des deux types de muscovite a été faite qu'au cours des analyses en éléments traces (LA-ICPMS).

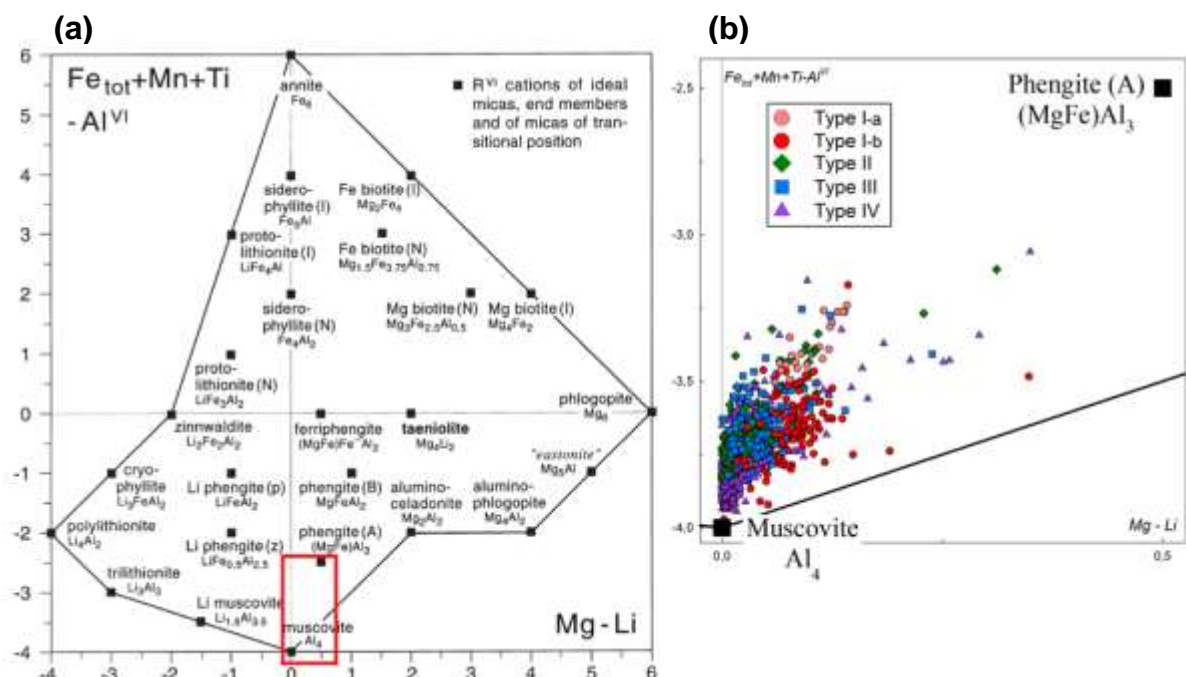


Fig. V-16 : a et b) Classification des muscovites des pegmatites du Cap de Creus dans le diagramme de classification de Tischendorf *et al.*, (2004).

Les muscovites des 43 pegmatites - 13 type I, 11 type II, 9 type III, 10 type IV- analysées à la microsonde ont été insérées dans le diagramme de classification des micas de Tischendorf *et al.*, (2004) (Fig. V-16). Ces dernières montrent essentiellement une composition en muscovite pure avec une légère composante en phengite. La composition en éléments majeurs, présenté synthétiquement dans le tableau V-1, est globalement homogène des pegmatites de type I aux pegmatites de type IV, avec des teneurs en SiO_2 comprises entre 43,8 et 49,0 % poids, Al_2O_3 comprises entre 30,7 et 38,1 % poids et K_2O comprises entre 8,3 et 11,3 % poids (Fig. V-17). Egalement des concentrations faibles en FeO (0,1 à 3 % poids), MgO (0 à 1,7 % poids), Na_2O (0,1 à 1,2 % poids) et TiO_2 (0 à 0,7 % poids) ont été mesurées

(Fig. V-17). Enfin, de très faibles concentrations en P_2O_5 (< 0,6% poids), BaO (< 0,3 % poids), CaO et MnO (< 0,2 % poids) ont été détectées (tableau V-1).

Tableau V-1 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus.

Type of Pegmatite	I-a		I-b		II		III		IV	
Microprobe (wt %)	average	*s.d	average	s.d	average	s.d	average	s.d	average	s.d
	(n = 22)		(n = 156)		(n = 192)		(n = 205)		(n = 241)	
SiO ₂	46,25	[44,82-48,15]	46,50	[44,52-48,14]	46,48	[44,88-49,01]	46,33	[44,28-48,23]	45,88	[43,82-48,65]
TiO ₂	0,09	[0,03-0,23]	0,14	[0,00-0,14]	0,04	[0,00-0,16]	0,06	[0,00-0,34]	0,05	[0,00-0,71]
Al ₂ O ₃	34,68	[33,34-35,20]	35,89	[34,26-35,14]	35,85	[30,74-37,33]	36,11	[32,36-37,65]	36,41	[31,62-38,08]
FeO	2,44	[2,09-2,96]	0,87	[0,10-2,14]	1,14	[0,58-2,51]	0,90	[0,41-2,58]	0,63	[0,20-2,56]
MnO	0,02	[0,00-0,07]	0,02	[0,00-0,14]	0,03	[0,00-0,13]	0,02	[0,00-0,12]	0,02	[0,00-0,12]
MgO	0,50	[0,30-0,71]	0,36	[0,01-0,14]	0,17	[0,00-1,56]	0,19	[0,00-1,18]	0,14	[0,00-1,74]
CaO	0,02	[0,00-0,07]	0,01	[0,00-0,14]	0,01	[0,00-0,17]	0,01	[0,00-0,13]	0,01	[0,00-0,15]
Na ₂ O	0,88	[0,78-1,01]	0,48	[0,28-1,14]	0,58	[0,09-1,23]	0,59	[0,14-1,06]	0,62	[0,19-1,17]
K ₂ O	9,80	[9,44-10,11]	10,56	[8,29-10,14]	10,18	[8,79-11,16]	10,22	[9,14-11,02]	9,99	[8,32-11,21]
P ₂ O ₅	0,04	[0,00-0,10]	0,05	[0,00-0,14]	0,06	[0,00-0,61]	0,06	[0,00-0,26]	0,08	[0,00-0,64]
F	0,10	[0,00-0,43]	0,09	[0,00-0,14]	0,16	[0,00-1,00]	0,32	[0,00-1,08]	0,24	[0,00-1,50]
BaO	0,02	[0,00-0,09]	0,01	[0,00-0,14]	0,00	[0,00-0,05]	0,00	[0,00-0,12]	0,02	[0,00-0,34]
Cr ₂ O ₃	0,01	[0,00-0,06]	0,02	[0,00-0,14]	0,02	[0,00-0,11]	0,02	[0,00-0,11]	0,02	[0,00-0,11]
Total	95,05	[93,41-97,88]	95,01	[93,15-97,14]	94,83	[92,18-97,53]	94,93	[92,40-97,94]	94,47	[91,12-96,95]
Mg#	0,17	[0,12-0,22]	0,29	[0,04-0,60]	0,12	[0,00-0,39]	0,17	[0,00-0,41]	0,12	[0,00-0,51]
LA-ICMPS (ppm)										
	average	s.d	average	s.d	average	s.d	average	s.d	average	s.d
	(n = 16)		(n = 75)		(n = 73)		(n = 37)		(n = 100)	
Li7	29	[21-35]	40	[10-124]	52	[8-183]	79	[17-285]	79	[6-307]
Be9	b.d.1	[0-0]	6	[3-13]	20	[12-46]	17	[9-23]	23	[11-88]
B11	51	[33-87]	70	[10-328]	120	[49-217]	114	[54-170]	207	[47-509]
P31	102	[47-133]	213	[b.d.1-886]	302	[b.d.1-2647]	193	[112-304]	387	[80-1138]
Sc45	14	[3-28]	12	[1-70]	8	[0-41]	2	[1-3]	19	[1-455]
Rb85	341	[277-486]	843	[217-3723]	2761	[1427-4279]	4164	[1573-13221]	5521	[1631-12174]
Sr86	14	[11-18]	1	[1-1]	1	[0-4]	1	[1-2]	5	[0-45]
Y89	b.d.1	[0-0]	0	[0-2]	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]
Zr91	b.d.1	[0-0]	1	[0-3]	1	[0-4]	1	[0-1]	1	[0-1]
Nb93	66	[21-98]	87	[0-372]	233	[115-354]	191	[32-265]	175	[32-291]
Sn120	258	[133-496]	103	[13-496]	203	[66-437]	385	[74-1104]	487	[96-2524]
Cs133	4	[2-6]	21	[2-101]	48	[16-112]	304	[19-1932]	269	[44-1003]
Ba137	532	[94-1077]	176	[1-2634]	12	[1-118]	5	[0-20]	44	[0-1748]
La139	b.d.1	[0-0]	0	[0-1]	0	[0-0]	b.d.1	[0-0]	0	[0-2]
Ce140	b.d.1	[0-0]	0	[0-1]	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-3]
Gd157	b.d.1	[0-0]	b.d.1	[0-0]	b.d.1	[0-0]	b.d.1	[0-0]	0	[0-0]
Yb173	b.d.1	[0-0]	b.d.1	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]	b.d.1	[0-0]
Lu175	b.d.1	[0-0]	b.d.1	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]
Hf177	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-1]	0	[0-0]	0	[0-0]
Ta181	4	[2-5]	15	[0-105]	24	[9-125]	27	[6-73]	38	[8-131]
Pb208	7	[4-9]	2	[1-10]	1	[0-2]	2	[1-9]	2	[0-9]
Th232	b.d.1	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]
U238	0	[0-0]	0	[0-1]	0	[0-1]	0	[0-1]	0	[0-4]
Nb/Ta	19	[10-32]	7	[1-31]	12	[2-20]	9	[3-20]	6	[1-14]
Rb/Cs	84	[68-131]	56	[11-272]	67	[22-126]	41	[4-90]	31	[3-92]
Li/Cs	7	[5-13]	3	[0-49]	1	[0-5]	1	[0-3]	1	[0-3]

*s.d = standard deviation

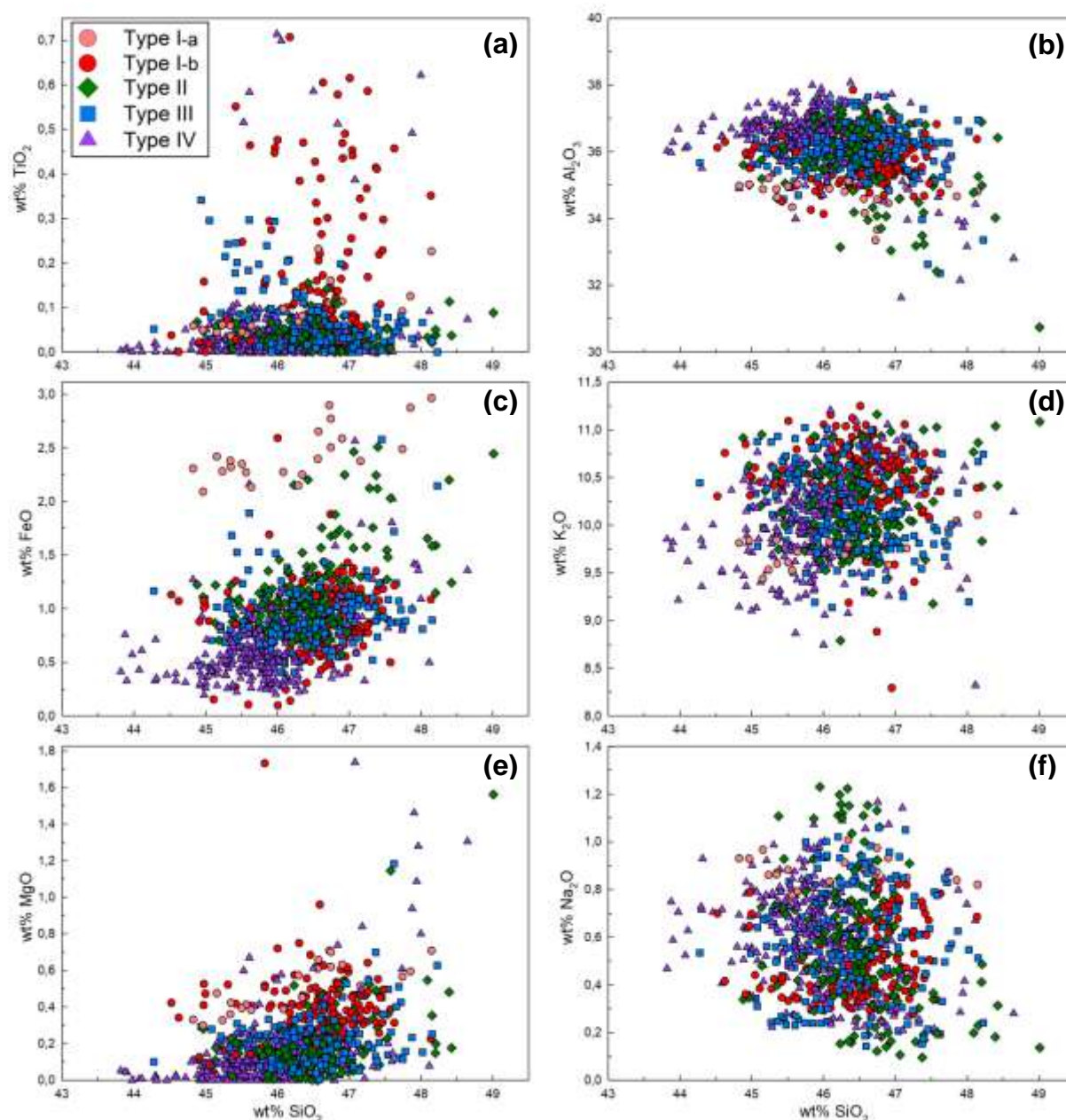


Fig. V-17 : Diagrammes SiO_2 versus a) TiO_2 , b) Al_2O_3 , c) FeO , d) K_2O , e) MgO et f) Na_2O des muscovites des pegmatites du Cap de Creus (en % poids d'oxyde).

En plus des nombreuses analyses ponctuelles en éléments majeurs, plusieurs profils ont été faits afin de déterminer si les muscovites sont zonées chimiquement ou non. Les différents profils obtenus, dont une partie est présentée ici, montrent que toutes les muscovites des pegmatites du Cap de Creus ont des compositions globalement homogènes des bordures jusqu'aux cœurs des minéraux (Fig. V-18). Les éléments dominants ($> 5\%$ poids) - SiO_2 , Al_2O_3 et K_2O - montrent des concentrations quasi constantes, avec quelques pics ponctuels qu'ils soient négatifs ou positifs. Alors que les éléments en faibles concentrations ($< 5\%$ poids) - MgO , FeO , TiO_2 , Na_2O - sont caractérisés par des variations un peu plus prononcées, mais non significatives à l'échelle du minéral.

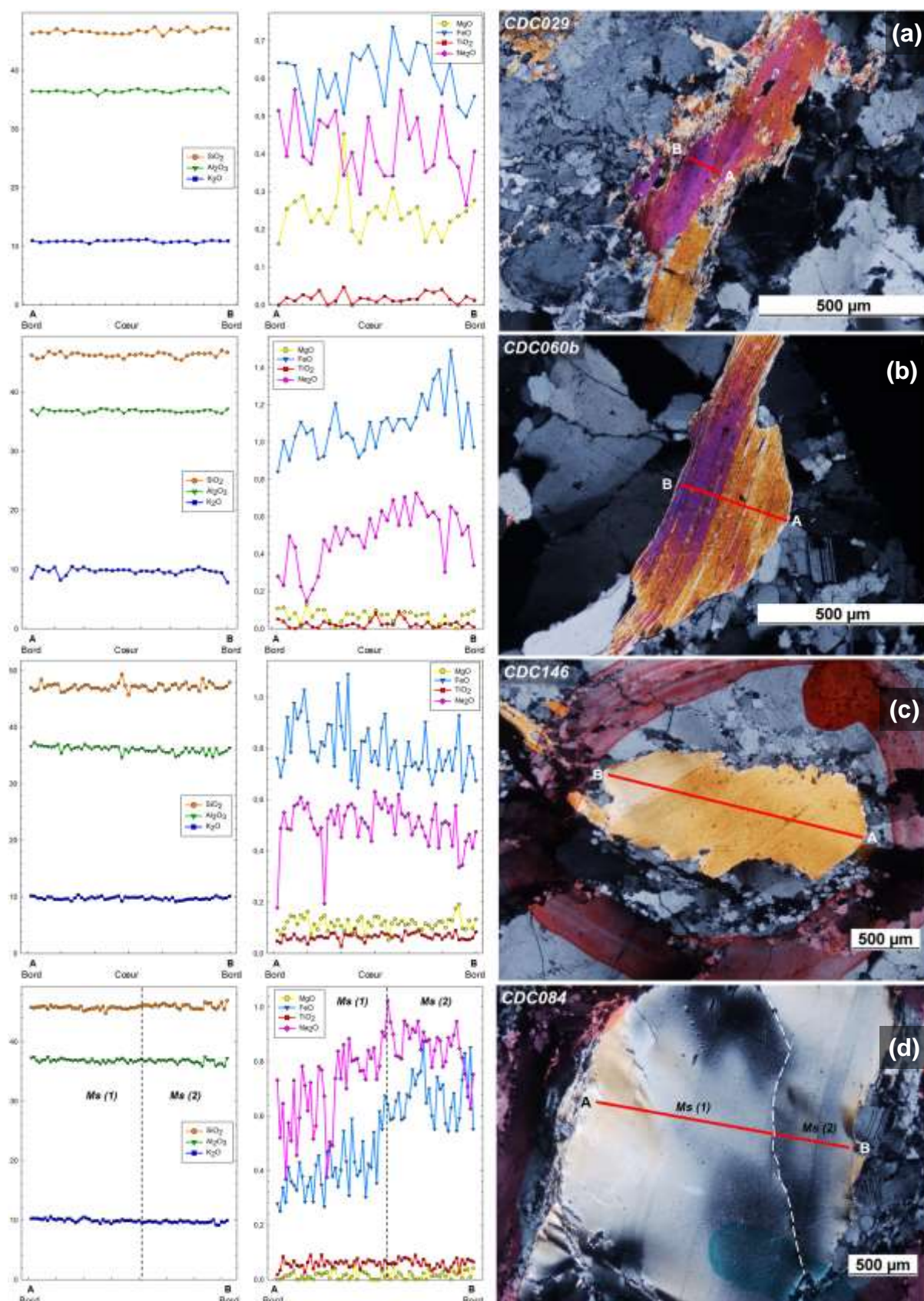


Fig. V-18 : Profils d'analyses en éléments majeurs (microsonde) de muscovites de pegmatites de a) type Ib, b) type II, c) type III et d) type IV.

Bien qu'en majorité les muscovites des pegmatites du Cap de Creus sont homogènes à l'échelle du minéral mais également à l'échelle de la zonation minéralogique des pegmatites (type), quelques différences sont à noter. Les diagrammes FeO vs TiO₂, FeO vs MgO et SiO₂ vs Mg# permettent de mettre en avant ces disparités (Fig. V-19). Les muscovites des pegmatites de types I sont caractérisées par un enrichissement en TiO₂ (type I : 0,13 % poids en moyenne ; type II, III et IV : 0,04 à 0,06 % poids en moyenne) et MgO (type I : 0,38 % poids en moyenne ; type II, III et IV : 0,14 à 0,19 % poids en moyenne) par rapport aux restes des pegmatites du Cap de Creus. Egalement au sein des pegmatites de type I, les deux sous-types, type I-a et I-b, se distinguent : i) les pegmatites type I-a sont définies par une forte concentration en FeO (2,09-2,96 % poids), une faible concentration en TiO₂ (0,03-0,23 % poids) et un faible Mg# (0,04-0,19), alors que ii) les pegmatites type I-b sont caractérisées par une faible concentration en FeO (0,10-1,88 % poids), une forte concentration en TiO₂ (0,00-0,71 % poids) et un Mg# variable (0,03-0,60).

On peut également noter une variabilité du Mg# au sein des différents types de pegmatite : de 0,03 à 0,60 pour les pegmatites de type I, 0,01 à 0,41 pour les pegmatites de type II, 0,00 à 0,51 pour les pegmatites de type III et 0,00 à 0,48 pour les pegmatites de type IV.

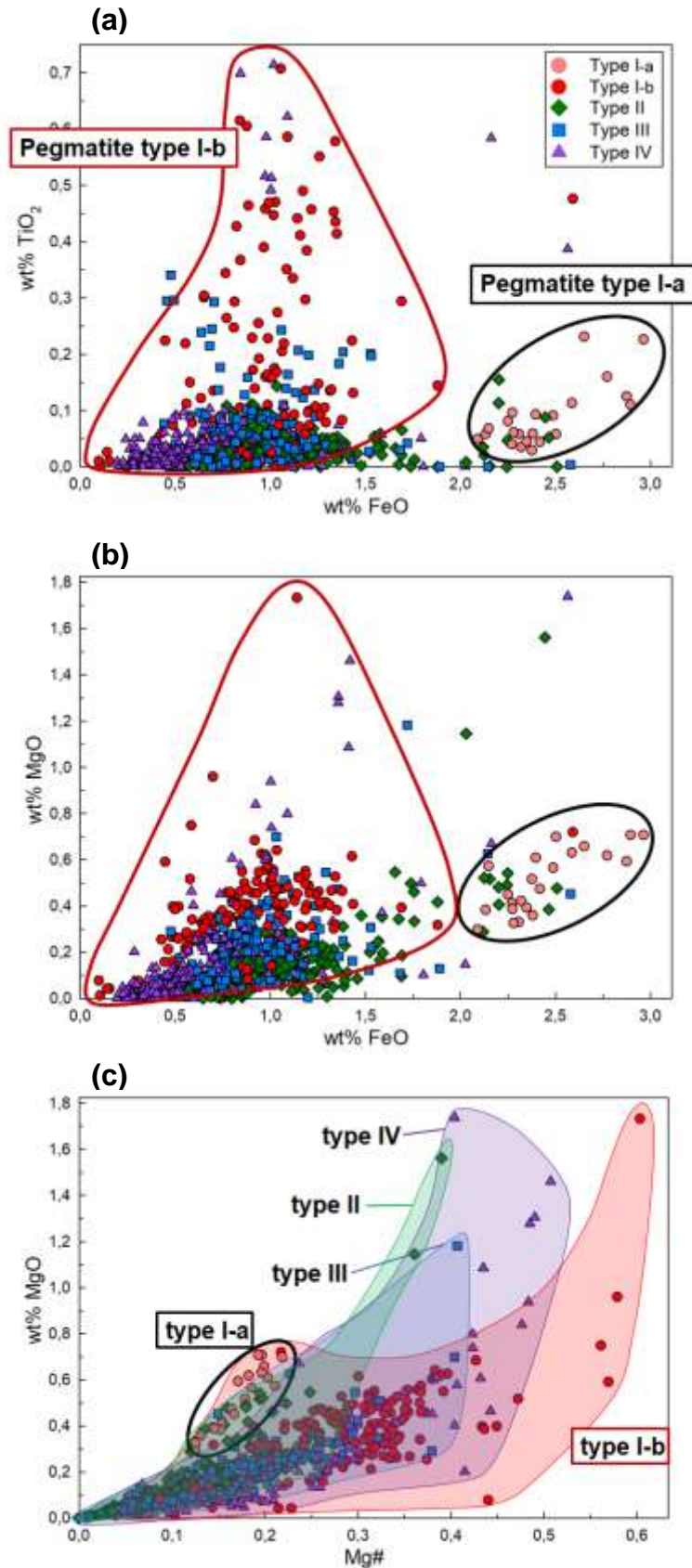


Fig. V-19 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) analysés sur les muscovites des pegmatites du Cap de Creus. a) FeO vs TiO_2 , b) FeO vs MgO et c) Mg # ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) vs MgO. Toutes ces concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Au cours de cette thèse, l'observation en microscopie optique des différentes pegmatites a permis de mettre en évidence différentes textures caractérisant les muscovites. D'un côté, des muscovites en inter-croissance avec les minéraux majeurs tels que le quartz ou les feldspaths, et de l'autre, des zones ou veines d'altération micacées (Fig. V-15). Ces différentes textures attestent de différentes origines des muscovites : une origine magmatique primaire et une origine hydrothermale / métamorphique secondaire. Pour plus de clarté et pour répondre à la question majeure de ma thèse qui est « l'origine (granitique ou anatectique) des pegmatites du Cap de Creus », cette partie ne présente que les résultats en éléments traces obtenus sur les muscovites considérées comme primaires magmatiques. L'origine et la nature des muscovites secondaires sont traitées dans la partie 3. Processus primaires vs secondaires de cristallisation, de ce chapitre.

Les muscovites des pegmatites du CdC présentent des concentrations en Rb et Cs qui augmentent du type I au type IV. Les teneurs en Rb peuvent atteindre 4 279 ppm (en moyenne 755 ppm et 2762 ppm pour les types I et II respectivement) pour les pegmatites les moins minéralisées (Type I & II) et 12 174 ppm (en moyenne 4238 ppm et 5554 ppm pour les types III et IV respectivement) pour les pegmatites les plus minéralisées (Type III et IV) (tableau V-1). La teneur en Cs est faible dans les pegmatites les moins minéralisées, allant de 2 à 112 ppm et pouvant aller jusqu'à 1932 ppm (en moyenne 279 ppm) dans les pegmatites les plus minéralisées. Les concentrations en Sn sont comprises entre 96 et 2524 ppm et entre 13 et 496 ppm, pour les pegmatites de type IV & I respectivement. A l'exception des pegmatites de type I, de faibles concentrations en Ba ont été mesurées (en moyenne : type I 238 ppm - type II 12 ppm – type III 5 ppm – type IV 26 ppm) (Fig. V-20). Egalement, de faibles quantités de P (272 ppm en moyenne, jusqu'à 2647 ppm), de Li (61 ppm en moyenne, jusqu'à 307 ppm), B (131 ppm en moyenne, jusqu'à 509 ppm), Nb (164 ppm en moyenne, jusqu'à 372 ppm) et Ta (26 ppm en moyenne, jusqu'à 131 ppm) ont été détectés dans tous les types de pegmatites. Les concentrations en terres rares sont systématiquement inférieures aux limites de détection.

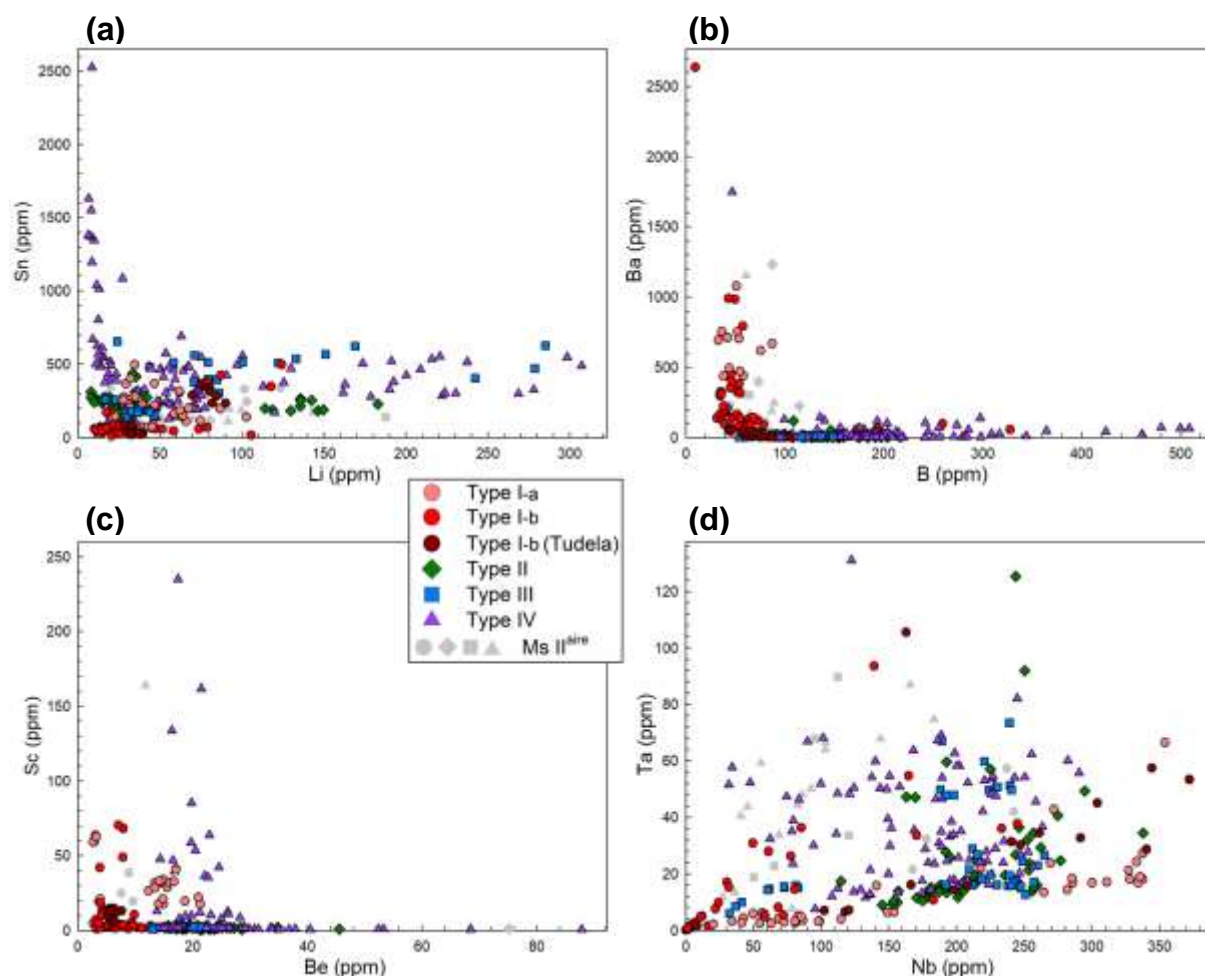
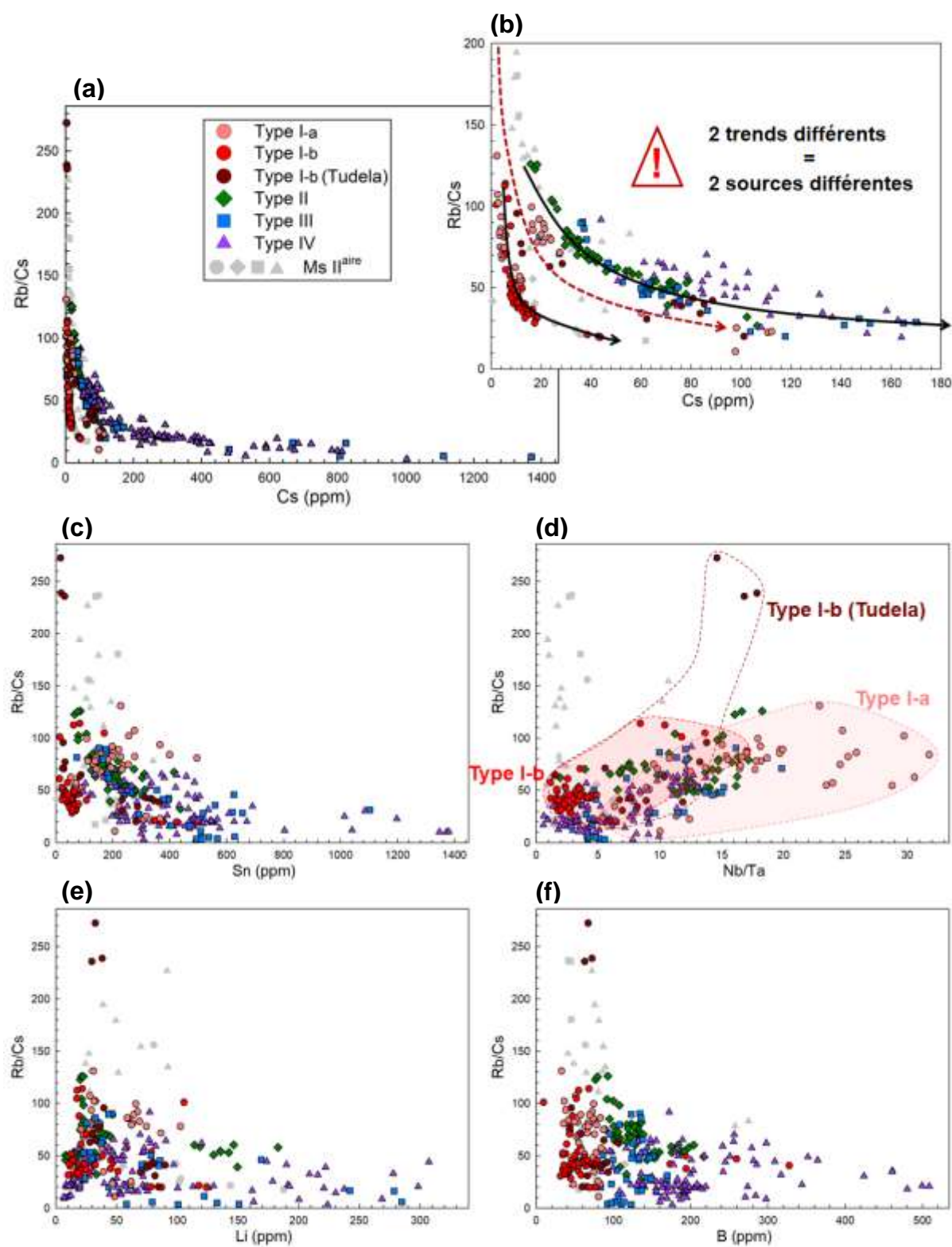


Fig. V-20 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus. a) Sn vs Li, b) Ba vs B, c) Sc vs Be et d) Ta vs Nb. Toutes les concentrations sont données en ppm.

Dans un diagramme Rb / Cs vs Cs, les teneurs en éléments traces déterminées dans les muscovites montrent clairement plusieurs chemins de différenciation (Fig. V-21a et b) : 1) une différenciation progressive des pegmatites faiblement évoluées (type I-a & II) aux plus évoluées (type III & IV), comme le montre le rapport Rb / Cs compris entre 22 et 131 pour les pegmatites les moins évoluées et 3 à 92 pour les pegmatites les plus évoluées ; 2) une légère différenciation de la totalité des pegmatites de type I-b avec des valeurs du rapport Rb / Cs comprises entre 11 et 115 ; 3) une différenciation des pegmatites litées de Tudela avec des valeurs du rapport Rb / Cs comprises entre 20 et 272. Ces trois chemins de différenciation magmatique sont caractérisés par un enrichissement progressif en B et relativement en Be et Sn, tandis que la teneur en Li, Nb et Ta ne semblent pas liés aux processus de différenciation magmatique (Fig. V-21).



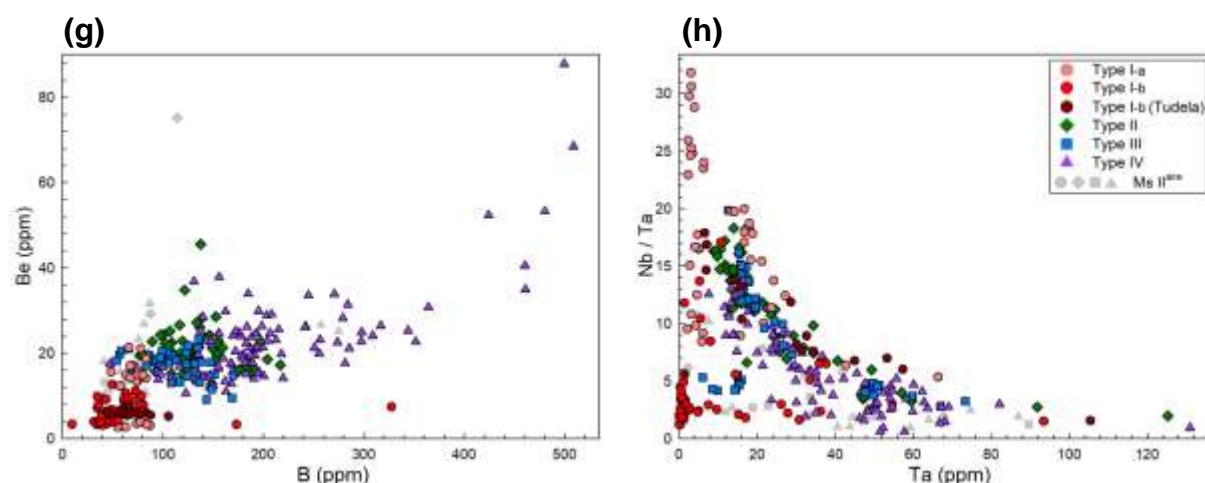


Fig. V-21 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus. Diagramme Rb / Cs versus a et b) Cs, c) Sn, d) Nb / Ta, e) Li et f) B. g) Be vs B, h) Nb / Ta vs Ta. Toutes les concentrations sont données en ppm.

Grâce aux différents résultats structuraux et microstructuraux obtenus sur les pegmatites du CdC et leurs roches encaissantes (cf. Chapitre IV), il a été établi que les pegmatites s'étaient mises en place tout au long de D2 et qu'il existait des pegmatites précoces, intermédiaires et tardives à D2. De plus, ces travaux ont montré qu'il existait différentes sources à l'origine des pegmatites du CdC. D'après ces faits établis, les analyses en éléments traces des muscovites ont été classées selon le timing de mise en place –précoce vs intermédiaire et tardive- de la pegmatite auxquelles elles appartiennent (Fig. V-22). Les résultats montrent qu'une majeure partie des pegmatites dites précoces se placent sur le même chemin de différenciation magmatique, soutenant le fait qu'une partie des pegmatites de type I-a et les pegmatites de type II, III et IV sont clairement liés génétiquement. Tandis que les pegmatites intermédiaires et tardives appartiennent à un autre chemin de différenciation magmatique, et sont uniquement caractérisées par des pegmatites très peu évoluées (type I-b). Egalement, quelques pegmatites de type I-a se retrouvent dans le chemin de différenciation magmatique des pegmatites intermédiaires et précoces, et les pegmatites litées de Tudela, tardives dans D2 montre un chemin de différenciation intermédiaire. Pour comprendre ce qu'il se passe, un zoom a été fait sur les pegmatites de types I (Fig. V-23).

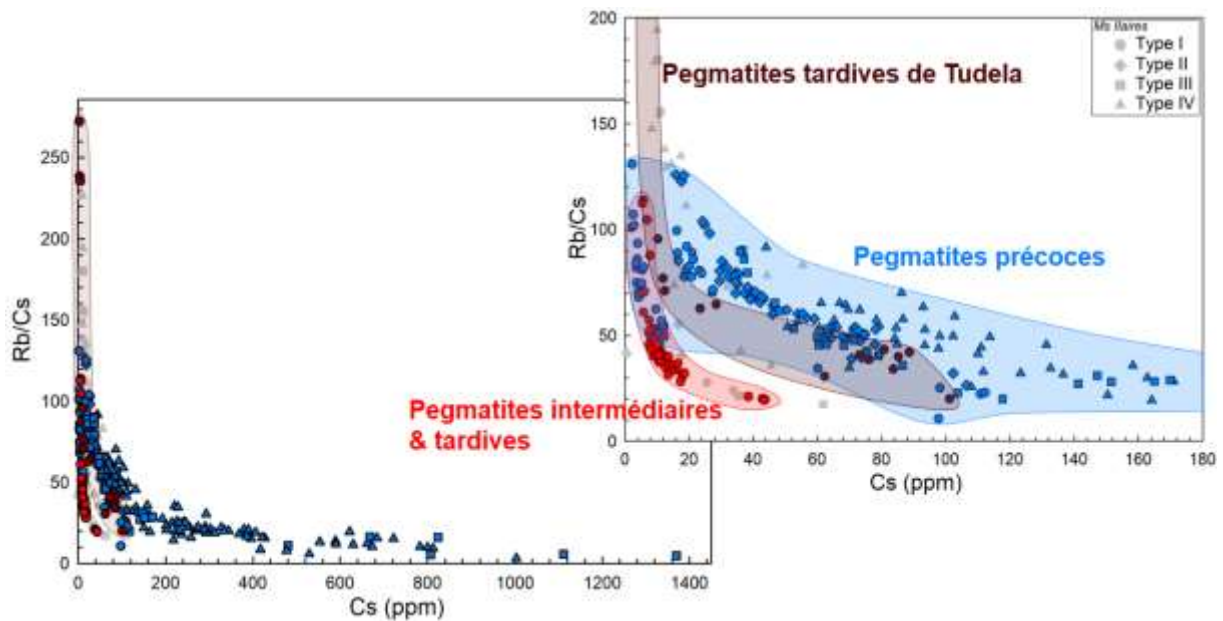


Fig. V-22 : Origine -précoce versus tardive- des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus dans un diagramme Rb / Cs versus Cs.

Lorsqu'on se focalise sur les pegmatites de type I, on s'aperçoit qu'une partie des pegmatites de type I-a sont clairement liées génétiquement aux pegmatites de type II, III et IV, alors que d'autres appartiennent au chemin de différenciation des pegmatites de type I-b (Fig. V-23). Ces dernières ont probablement subi un remaniement chimique des éléments mobiles (phénomène de contamination), leur permettant ainsi d'acquérir des concentrations en Rb et Cs similaires aux pegmatites de type I-b. Egalement, les pegmatites litées de Tudela se retrouvent entre ces deux chemins de différenciation, montrant comme un mélange entre des pegmatites de type I-a (non contaminées) et des pegmatites de type I-b.

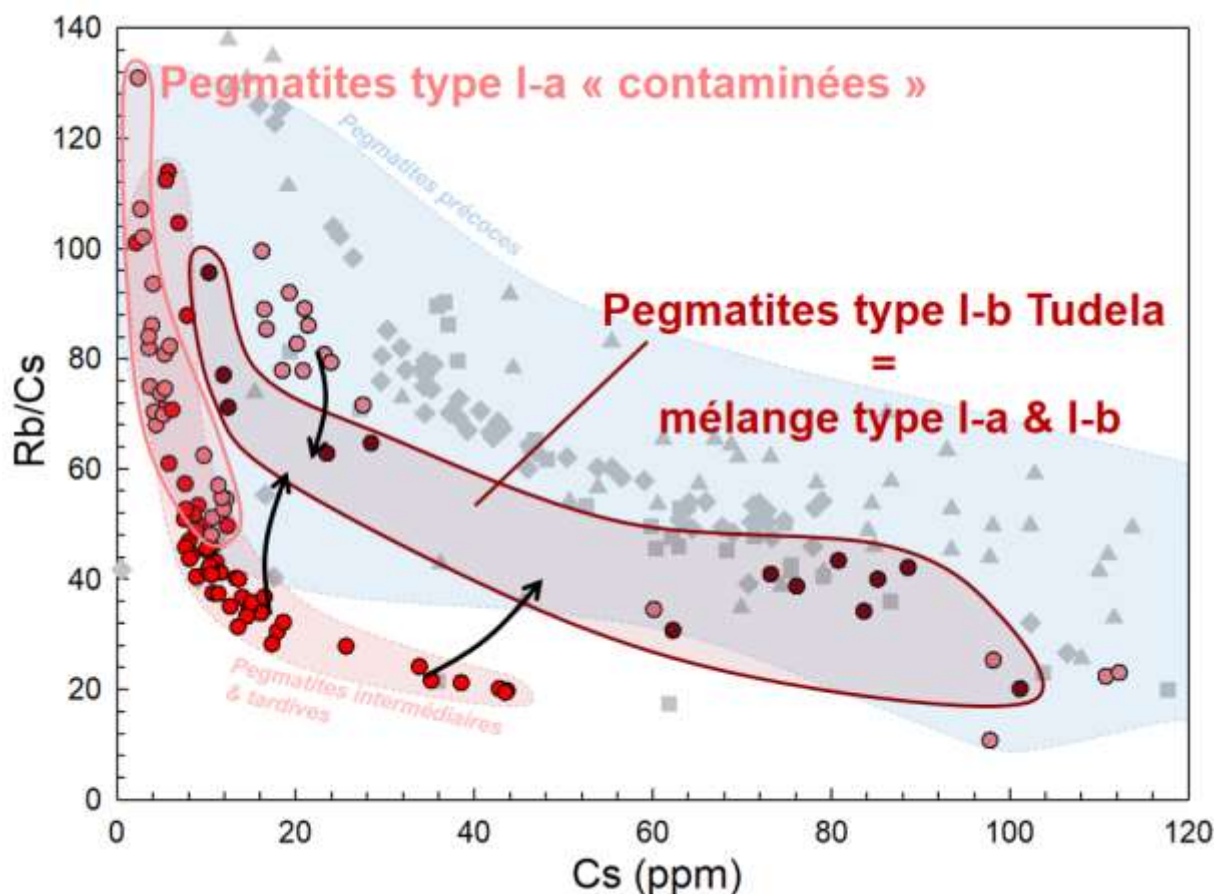


Fig. V-23 : Diagramme Rb / Cs versus Cs des pegmatites de type I -type I-a, type I-b et type I-b litées de Tudela- du Cap de Creus.

3. Grenat

Le Cap de Creus est bien connu pour son caractère peralumineux, comme en témoigne les nombreuses minéralisations en grenat, minéral caractéristique des milieux saturés en aluminium. On peut le retrouver aussi bien dans les pegmatites que dans les roches encaissantes (granodiorites, micaschistes). Au sein des pegmatites, cette forte abondance en grenat est principalement marquée dans les pegmatites les moins évoluées -type I et II- (cf. V.1. Pétrologie des pegmatites du Cap de Creus).

Du fait de l'hétérogénéité minéralogique (i.e. zonations magmatiques) des corps pegmatitiques ainsi qu'aux grandes variations d'abondance du grenat d'une zone à une autre (dans le même corps), très peu de grenat ont été identifiés lors de l'élaboration des lames (minces et épaisses). Au total, 4 pegmatites possédant du grenat ont pu être analysées pour leurs éléments majeurs, mais seulement 2 pegmatites présentant du grenat ont pu être analysées pour les éléments traces (Tableau V-2).

Trois pegmatites de type I et une pegmatite de type III ont fait l'objet d'analyses en éléments majeurs. Des pegmatites les moins évoluées (type I) aux plus évoluées (type III) les concentrations en SiO₂ (comprises entre 35,8 et 37,0 % poids), FeO (comprises entre 21,0 et 32,5 % poids), Al₂O₃ (comprises entre 20,4 et 21,1 % poids), MgO (comprises entre 0,14 et 2,24 % poids) et Na₂O (comprises entre 0 et 0,10 % poids) diminuent, alors que les concentrations en MnO (comprises entre 8,4 et 22,1 % poids) augmentent (Fig. V-24a, b et c). Egalement de faibles concentrations en CaO (< 0,24 % poids) et Cr₂O₃ (< 0,02 % poids) ont été mesurées mais leur concentration ne montre pas de tendance quelconque (Fig. V-24d).

Tableau V-2 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICPMS) des grenats des pegmatites du Cap de Creus.

Type of Pegmatite	I-a	I-b	II	III	IV
Microprobe					
(wt %)					
		average (n = 28)	range	average (n = 12)	range
Na ₂ O	n.a	0,05	[0,00-0,10]	0,02	[0,00-0,05]
Al ₂ O ₃	n.a	20,90	[20,70-21,14]	20,56	[20,42-20,76]
SiO ₂	n.a	36,85	[36,37-37,05]	36,24	[35,85-36,54]
K ₂ O	n.a	0,01	[0,00-0,04]	0,01	[0,00-0,02]
CaO	n.a	0,16	[0,09-0,24]	0,14	[0,07-0,20]
MnO	n.a	10,79	[8,37-15,54]	17,67	[16,34-22,12]
FeO	n.a	29,69	[25,81-32,50]	25,35	[21,02-26,41]
MgO	n.a	1,95	[1,48-2,24]	0,21	[0,14-0,24]
TiO ₂	n.a	0,00	[0,00-0,03]	0,00	[0,00-0,02]
Cr ₂ O ₃	n.a	0,00	[0,00-0,01]	0,00	[0,00-0,02]
Total	n.a	100,41	[99,79-101,27]	100,20	[99,67-100,62]
LA-ICPMS (ppm)					
		average (n = 14)	range		
Li7	n.a	122	[52-226]	n.a	n.a
Be9	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
B11	n.a	10	[9-10]	n.a	n.a
P31	n.a	1264	[637-1966]	n.a	n.a
Sc45	n.a	21	[3-64]	n.a	n.a
Ti47	n.a	65	[13-294]	n.a	n.a
Rb85	n.a	1	[0-1]	n.a	n.a
Sr86	n.a	0	[0-1]	n.a	n.a
Y89	n.a	85	[1-320]	n.a	n.a
Zr91	n.a	9	[3-30]	n.a	n.a
Nb93	n.a	1	[0-4]	n.a	n.a
Sn120	n.a	5	[1-11]	n.a	n.a
Cs133	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
Ba137	n.a	0	[0-2]	n.a	n.a
La139	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
Ce140	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
Pr141	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
Nd146	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
Sm147	n.a	0	[0-1]	n.a	n.a
Eu151	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a
Gd157	n.a	2	[0-5]	n.a	n.a
Tb159	n.a	1	[0-3]	n.a	n.a
Dy163	n.a	11	[0-41]	n.a	n.a
Ho165	n.a	3	[0-11]	n.a	n.a
Er167	n.a	11	[0-46]	n.a	n.a
Tm169	n.a	3	[0-12]	n.a	n.a
Yb173	n.a	27	[0-140]	n.a	n.a
Lu175	n.a	4	[0-21]	n.a	n.a

Hf177	n.a	0	[0-1]	n.a	n.a	n.a
Ta181	n.a	1	[0-4]	n.a	n.a	n.a
Pb208	n.a	0	[0-1]	n.a	n.a	n.a
Th232	n.a	0	[0-0]	n.a	n.a	n.a
U238	n.a	1	[0-5]	n.a	n.a	n.a
ΣREE Lourdes	n.a	58	[0-279]	n.a	n.a	n.a

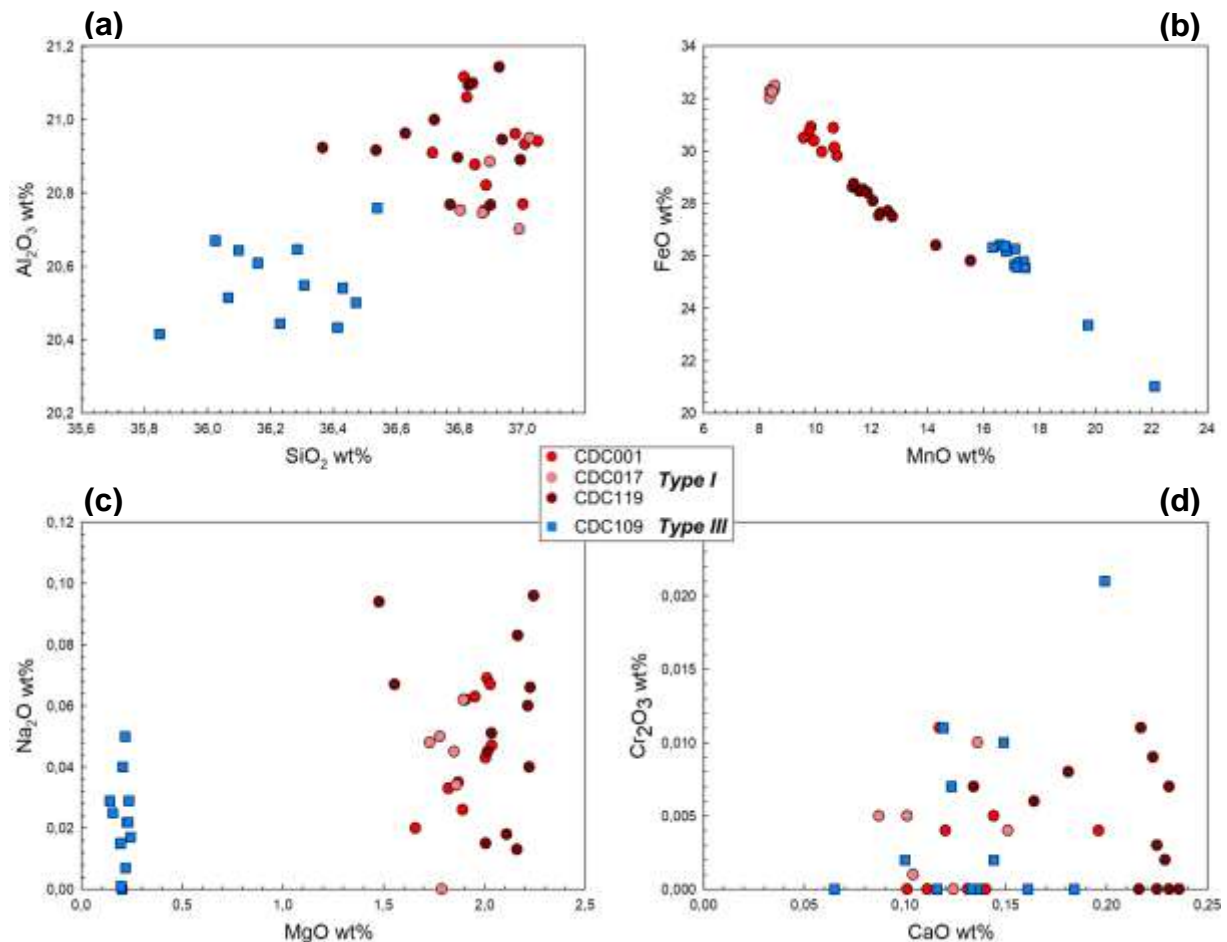


Fig. V-24 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les grenats des pegmatites du Cap de Creus. a) SiO_2 vs Al_2O_3 , b) MnO vs FeO , c) MgO vs Na_2O et d) CaO vs Cr_2O_3 . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Egalement plusieurs profils ont été dressés sur trois grenats d'une pegmatite de type I (Fig. V-25). Sur ces trois grenats, deux (C9 et C11) sont caractérisés par des concentrations très homogènes en SiO_2 (36,6 % poids en moyenne), FeO (27,7 % poids en moyenne), Al_2O_3 (20,8 % poids en moyenne), MnO (12,9 % poids en moyenne), CaO (0,22 % poids en moyenne) et Na_2O (0,07 % poids en moyenne), ainsi que de faibles variations en MgO (de 1,2 à 2,28 % poids). Le troisième grenat (C10) présente les mêmes compositions homogènes avec cependant plus de variations de concentration en FeO et MnO , avec des concentrations allant de 25,4 à 28,4 % poids (26,8 % poids en moyenne) et 11,6 et 16,0 % poids (14,2 % poids en moyenne) respectivement.

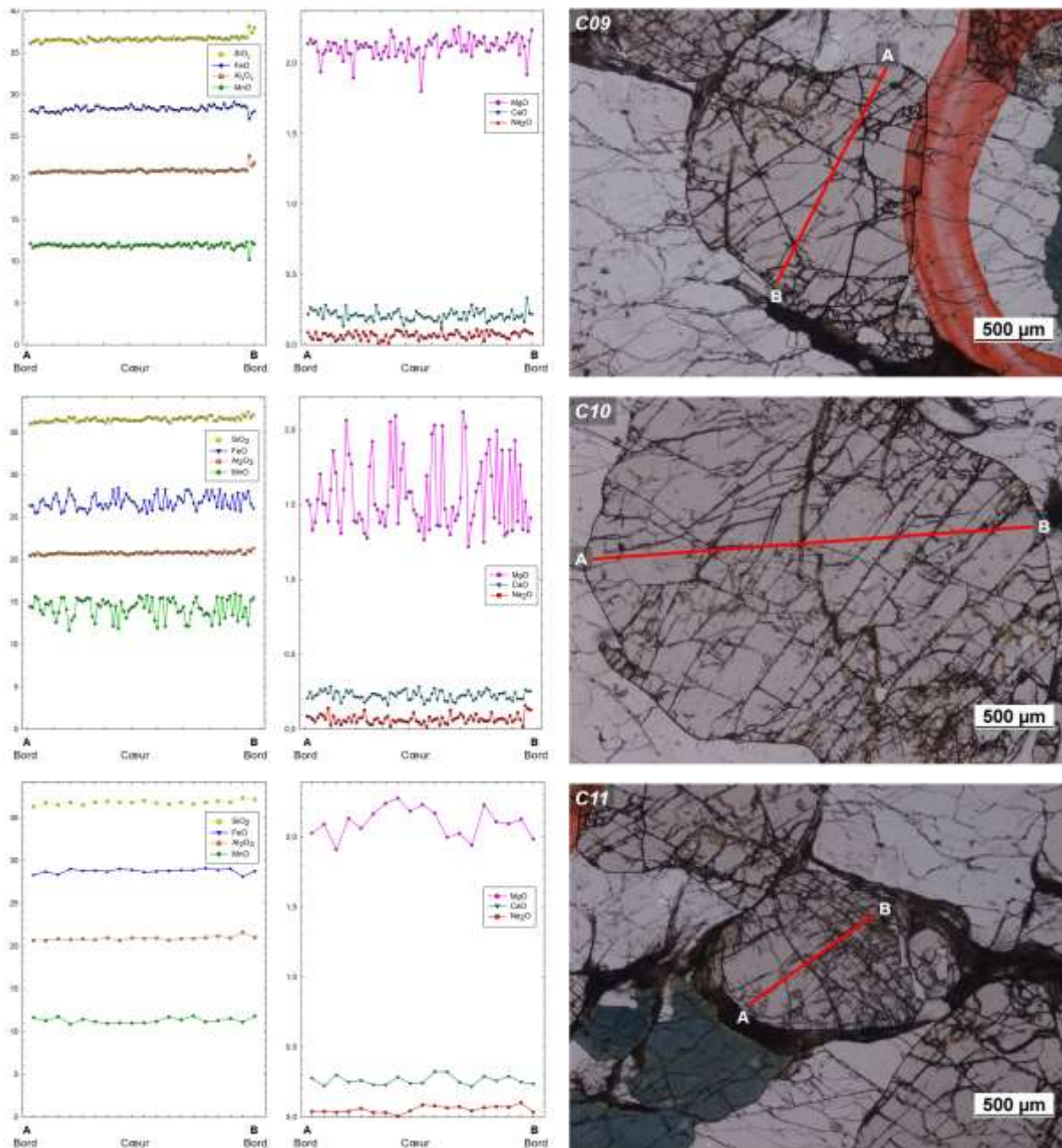


Fig. V-25 : Profils d'analyses en éléments majeurs (microsonde) de grenats d'une pegmatite de type I.

Les éléments traces des grenats ont été analysés sur deux pegmatites, une pegmatite de type I-b (CDC119), et une pegmatite litée (CDC001), similaire aux grosses pegmatites litées de Tudela. Egalement, par soucis de comparaison, des analyses en éléments traces sur des grenats appartenant à une granodiorite (zone de « Punta dels Farallons ») ont été faites. Ces analyses montrent que les grenats des pegmatites sont systématiquement très appauvris en Sc, Ca, Zr, Ti, Y et REE lourdes et très enrichis en P et Li par rapport aux grenats de la granodiorite (Fig. V-26). Egalement, la pegmatite CDC119 est légèrement plus enrichie en

Ca (1705 ppm en moyenne contre 1408 ppm), Ti (90 ppm en moyenne contre 32 ppm), Y (134 ppm en moyenne contre 37 ppm), Sc (33 ppm en moyenne contre 9 ppm) et REE lourdes (104 ppm en moyenne contre 11 ppm) et plus appauvrie en P (1107 ppm en moyenne contre 1421 ppm) et Li (81 ppm en moyenne contre 163 ppm) que la pegmatite CDC001 (tableau V-2). Enfin, la quasi-totalité des autres éléments (e.g. B, Rb, Sr, Nb, Ta, Sn...) excepté les terres rares montrent des concentrations systématiquement inférieures à la dizaine de ppm.

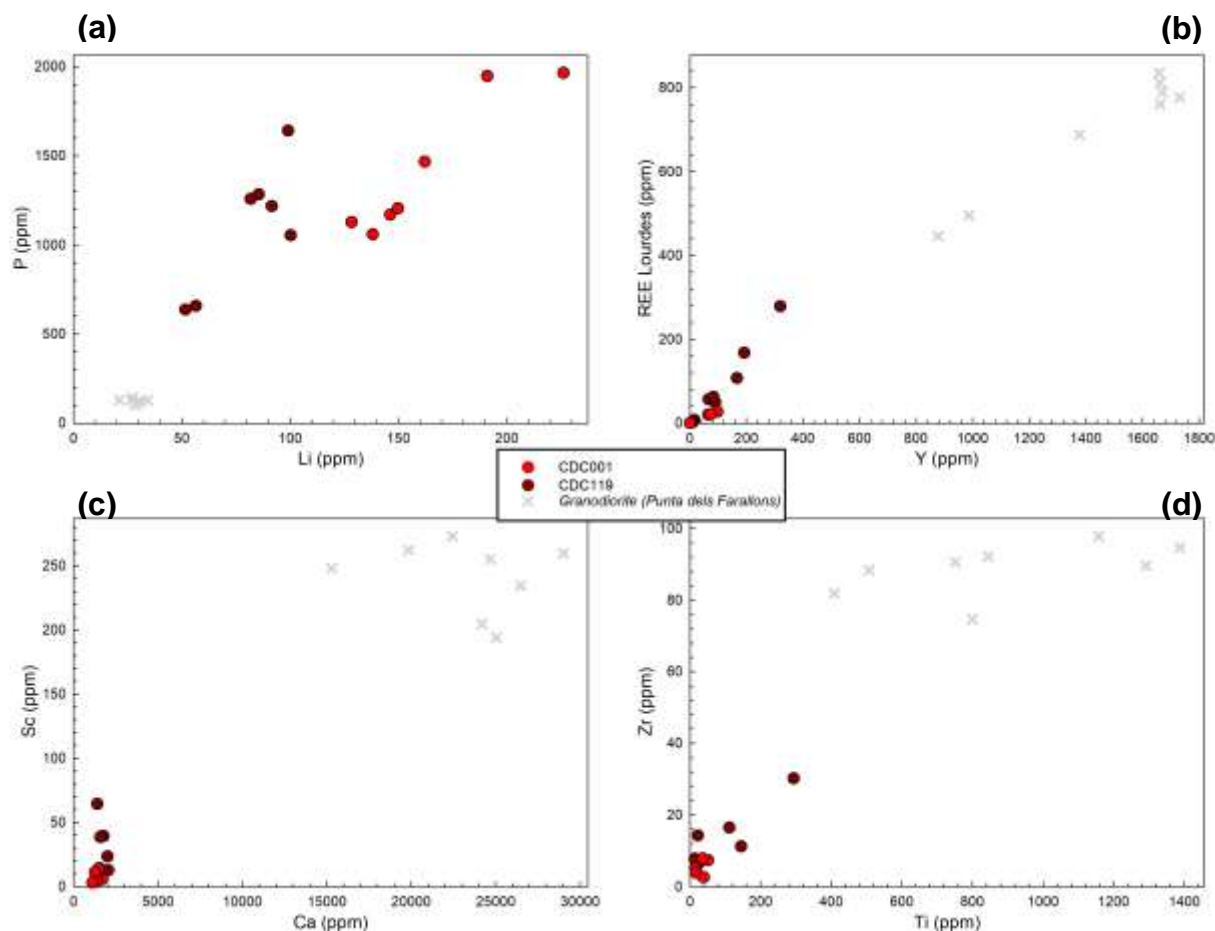


Fig. V-26 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des grenats des pegmatites du Cap de Creus. a) Li vs P, b) Y vs Σ des REE lourdes, c) Ca vs Sc et d) Ti vs Zr. Toutes les concentrations sont données en ppm.

En plus d'identifier les concentrations en éléments traces des grenats, les analyses LA-ICPMS ont permis également de dresser différents « spider diagrams » (diagramme de REE et diagramme de spectre étendu) (Fig. V-27). Du fait de la très faible concentration en certains éléments (e.g. REE légères) et de la variabilité de qualité des analyses (cf. III.4. Observations et critiques [...]), les spectres des pegmatites ne sont pas complets et les interprétations peuvent être discutables. Cependant plusieurs tendances ressortent : tous les grenats analysés semblent appauvris en REE légères et enrichis en REE lourdes (Fig.V-

27a). Ils possèdent tous également une anomalie négative en Eu, occasionnée par la cristallisation de plagioclases dans le liquide magmatique. Les grenats des pegmatites sont globalement plus appauvris que les grenats de la granodiorite, et seuls le Nb et le Ta sont enrichis dans les grenats des pegmatites par rapport aux grenats de la granodiorite (Fig.V-27b). Egalement, la pegmatite CDC119 (rappel : faisant partie des pegmatites de type Ib) est globalement plus enrichie en REE que la pegmatite litée CDC001.

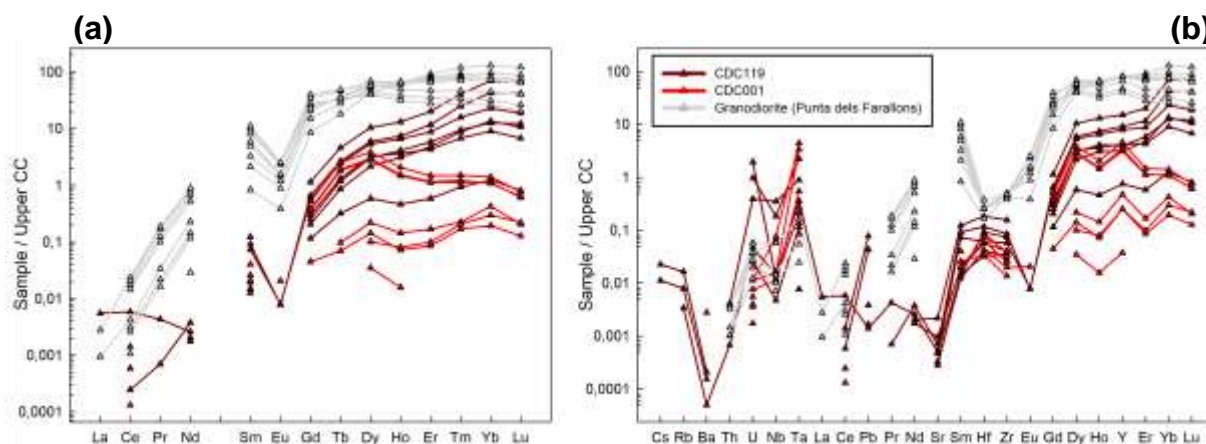


Fig. V-27 : Spider diagrams des grenats (des pegmatites) analysées au LA-ICPMS. a) Spider diagram des REE. b) Spider diagram étendu. Normalisation à la croûte supérieure d'après Rudnick and Gao, (2003).

4. Tourmaline

16 tourmalines issues de 5 pegmatites -3 type I, 1 type III et 1 type IV- ont fait l'objet d'analyses en éléments majeurs (Tableau V-3). Ces analyses ont été couplées aux quelques analyses obtenues sur des tourmalines de veines de quartz (Fig.V-28). Les tourmalines des pegmatites du CdC sont caractérisées par des concentrations en SiO_2 comprises entre 34,6 et 37,2 % poids, Al_2O_3 comprises entre 32,4 et 35,6 % poids, FeO comprises entre 6,4 et 13,6 % poids et MgO comprises entre 0,6 et 6,0 % poids. De plus faibles concentrations en Na_2O (de 1,23 à 2,43 % poids), TiO_2 (de 0 à 1,02 % poids), CaO (de 0 à 0,35 % poids) et MnO (de 0 à 0,36 % poids) ont été également mesurées. La tendance principale qui en ressort est que les tourmalines des pegmatites de type III sont nettement plus enrichies en FeO (12,4 % poids en moyenne) et plus appauvries en MgO (1,0 % poids en moyenne) que les tourmalines analysées dans les pegmatites de type I et IV (en moyenne 9,1 % poids de FeO et 3,9 % poids de MgO). Ces résultats sont encore plus visibles dans des diagrammes de Mg\# et Na\# (Fig. V-29). Il apparaît que les tourmalines des pegmatites de type III possèdent un Mg\# très faible (0,07 en moyenne) et un Na\# très élevé (0,98 en moyenne) et qu'en plus de l'appauvrissement en MgO et l'enrichissement en FeO , ces tourmalines sont

légèrement plus appauvries en CaO (0,02 % poids en moyenne) que les tourmalines des pegmatites de type I et IV (0,11 % poids en moyenne).

Tableau V-3 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) des tourmalines des pegmatites du Cap de Creus.

Type of Pegmatite	I-a	I-b		II	III		IV	
Microprobe (wt %)		average	range		average	range	average	range
		(n = 28)			(n = 6)		(n = 8)	
Na ₂ O	n.a	1,98	[1,67-2,43]	n.a	1,57	[1,23-1,75]	1,81	[1,48-2,04]
Al ₂ O ₃	n.a	33,79	[33,12-34,67]	n.a	34,12	[32,58-35,31]	33,72	[32,44-35,62]
SiO ₂	n.a	35,95	[34,60-36,97]	n.a	35,75	[35,31-36,06]	36,55	[35,82-37,20]
K ₂ O	n.a	0,05	[0,01-0,10]	n.a	0,04	[0,00-0,07]	0,02	[0,00-0,04]
CaO	n.a	0,10	[0,00-0,27]	n.a	0,02	[0,00-0,06]	0,14	[0,03-0,35]
TiO ₂	n.a	0,25	[0,00-0,77]	n.a	0,15	[0,09-0,23]	0,50	[0,06-1,02]
MnO	n.a	0,14	[0,00-0,26]	n.a	0,19	[0,11-0,30]	0,09	[0,02-0,36]
FeO	n.a	9,44	[6,57-11,51]	n.a	12,41	[11,59-13,62]	8,06	[6,43-10,91]
F	n.a	0,27	[0,00-0,72]	n.a	0,57	[0,00-1,05]	0,25	[0,00-0,57]
MgO	n.a	3,76	[2,33-5,92]	n.a	0,99	[0,58-2,09]	4,43	[1,27-5,99]
BaO	n.a	0,00	[0,00-0,02]	n.a	0,00	[0,00-0,02]	0,00	[0,00-0,00]
Cr ₂ O ₃	n.a	0,01	[0,00-0,04]	n.a	0,00	[0,00-0,01]	0,02	[0,00-0,08]
P ₂ O ₅	n.a	b.d.l	[0,00-0,00]	n.a	b.d.l	[0,00-0,00]	b.d.l	[0,00-0,00]
NiO	n.a	0,03	[0,00-0,12]	n.a	b.d.l	[0,00-0,00]	b.d.l	[0,00-0,00]
Total	n.a	85,77	[83,49-87,11]	n.a	85,83	[85,18-86,19]	85,58	[84,91-86,53]
Mg#		0,29	[0,18-0,47]		0,07	[0,04-0,15]	0,35	[0,11-0,48]
Na#		0,95	[0,87-1,00]		0,98	[0,95-1,00]	0,93	[0,85-0,98]

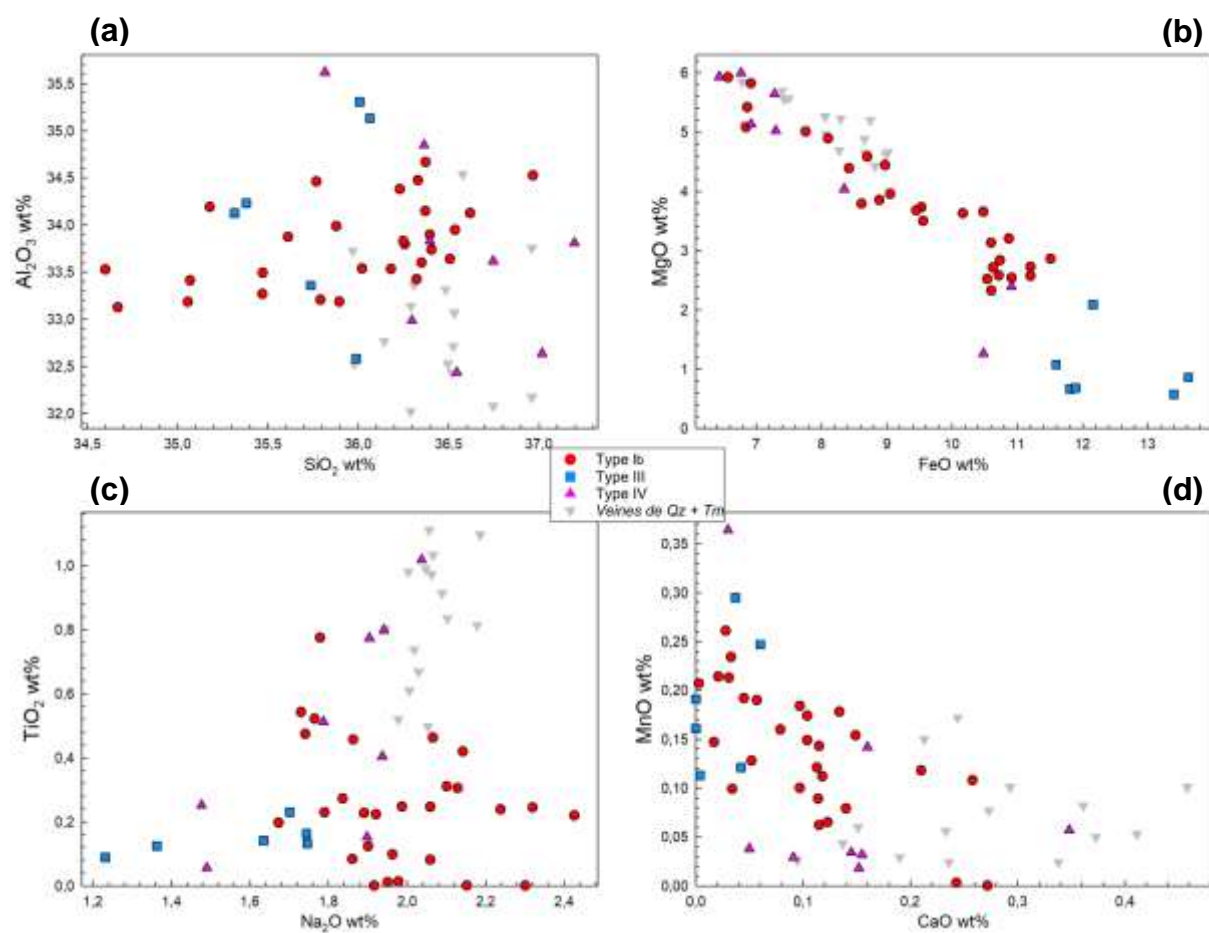


Fig. V-28 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les tourmalines des pegmatites du Cap de Creus. a) SiO_2 vs Al_2O_3 , b) FeO vs MgO , c) Na_2O vs TiO_2 et d) CaO vs MnO . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

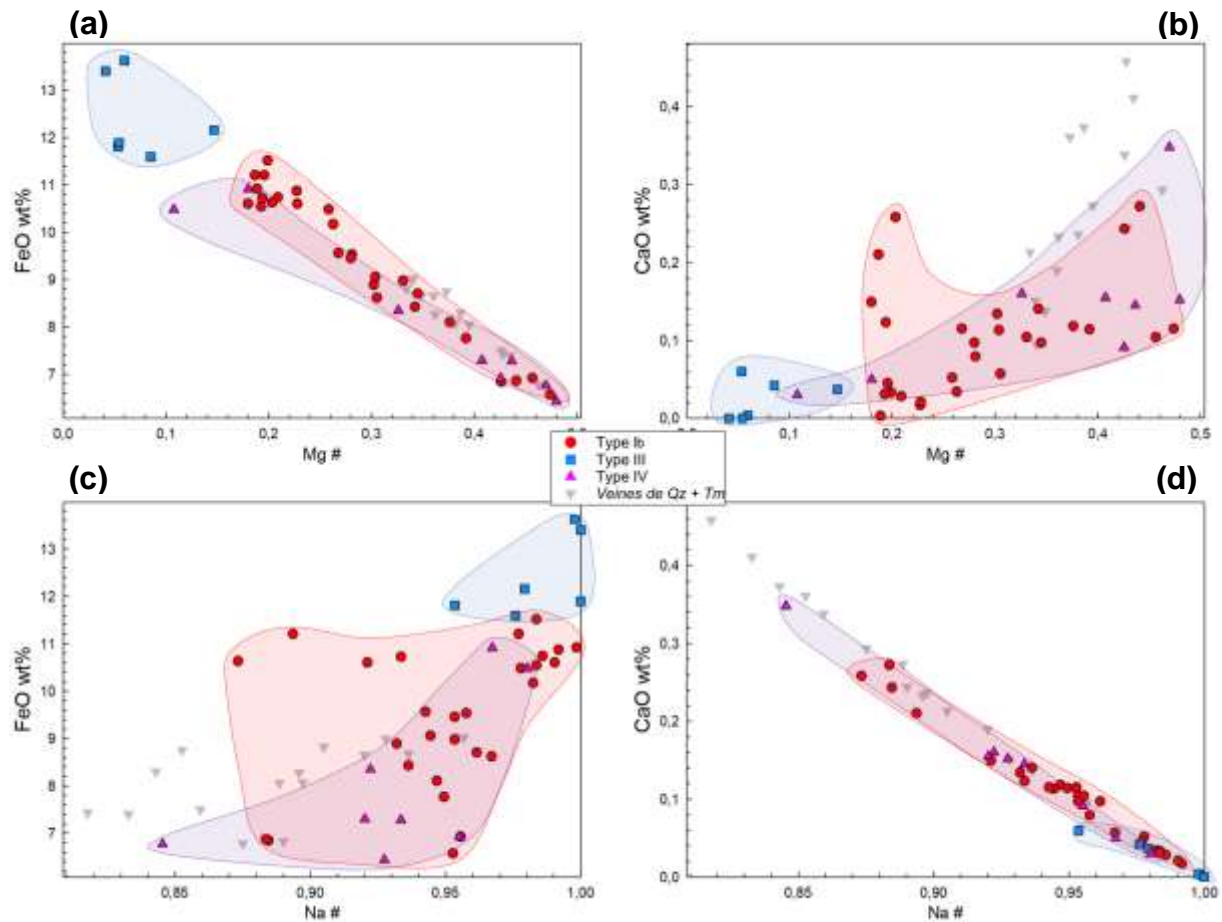


Fig. V-29 : Mg # ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) versus a) FeO et b) CaO, et Na # ($\text{Na} / (\text{Na} + \text{Ca})$) versus c) FeO et d) CaO des tourmalines des pegmatites du Cap de Creus. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Plusieurs profils en éléments majeurs des tourmalines, deux dans une pegmatite de type I et un dans une pegmatite de type III, ont également été réalisés (Fig. V-30). Comme le laissait présumer les observations optiques en lumière polarisée, la majorité des tourmalines sont zonées. Cette zonation, clairement visible dans les tourmalines de la pegmatite CDC119, se caractérise par un appauvrissement, des bordures au cœur, en MgO (de 5,3 à 3,9 % poids en moyenne), TiO_2 (de 0,45 à 0,24 % poids en moyenne) et CaO (de 0,26 à 0,13 % poids en moyenne), ainsi qu'un enrichissement en FeO (de 6,9 à 8,9 % poids en moyenne) (Fig. V-30a et b). D'autres tourmalines, comme la tourmaline de la pegmatite CDC124, ne montrent que de très faibles variations en concentrations, principalement marquées par un appauvrissement TiO_2 (de 0,26 à 0,10 % poids en moyenne), de la bordure au cœur de la tourmaline (Fig. V-30c).

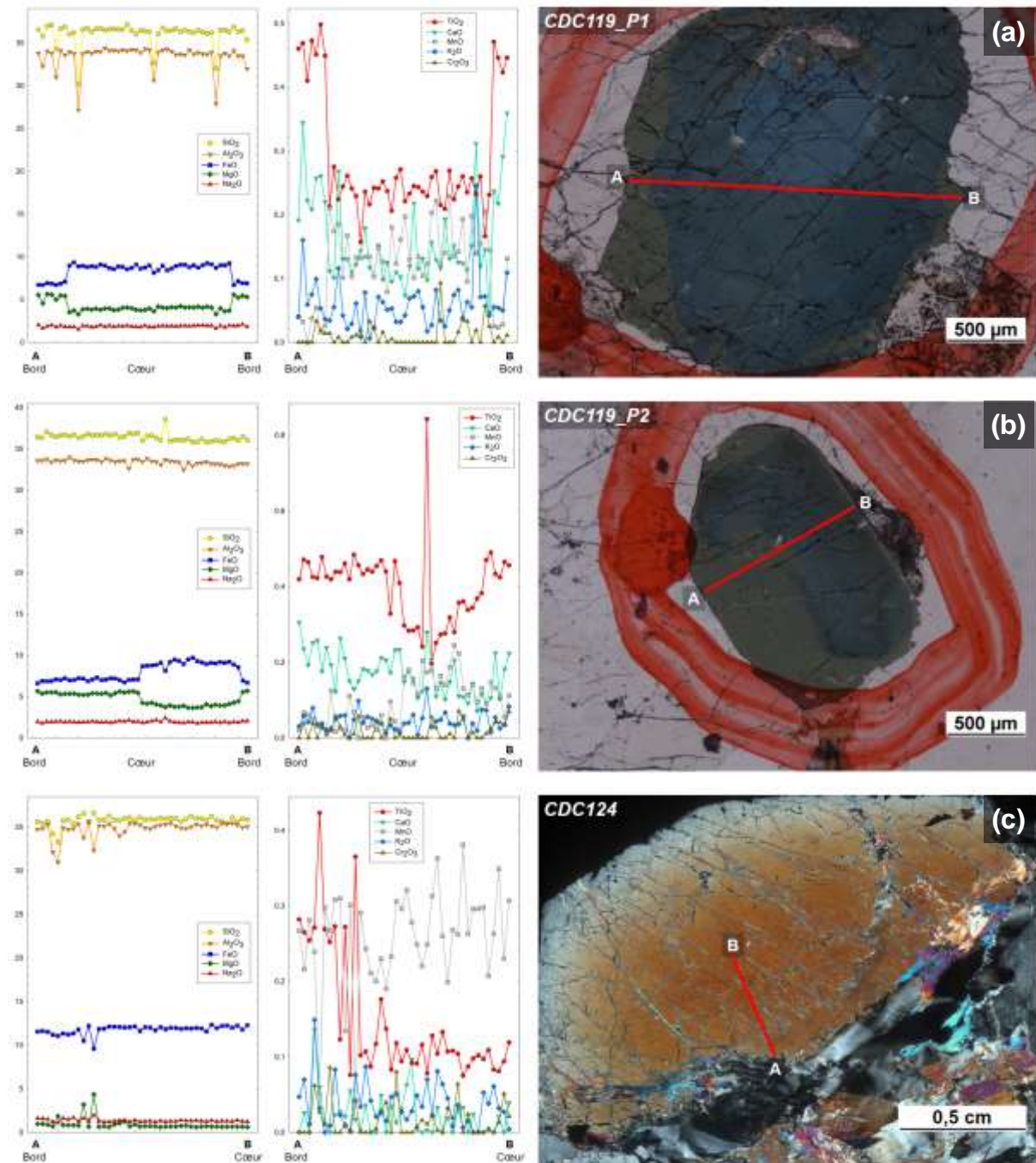


Fig. V-30 : Profils d'analyses en éléments majeurs (microsonde) de tourmalines de pegmatites de, a et b) type I, et c) type III.

5. Groupe de la colombite (CGM)

Les minéraux du groupe de la colombite (CGM) sont présents dans l'ensemble des pegmatites du CdC, et sont caractérisés par différentes générations de cristallisation décrites

et analysées en détail dans la « partie 3.4. Effets des processus secondaires : exemple des CGM ».

Sans distinction entre ces générations de cristallisation, les analyses présentées dans le tableau V-4 montrent que la chimie des CGM révèle une large plage de composition allant de 19,8 à 71,2% poids de Nb₂O₅ et de 7,7 à 64,1% poids de Ta₂O₅ (Fig. V-31). Ces concentrations permettent de classer les CGM du Cap de Creus dans les groupes des ferrocolombites et ferrotantalites (Fig. V-32). Les CGM présentent également des variations plus faibles en concentrations de FeO et de MnO comprises entre 8,7 et 16,8% poids et 1,4 à 8,5% poids, respectivement, ainsi que de faibles concentrations en WO₃ (< 1,7% en poids), TiO₂ (< 1,4% en poids), ZrO₂ (< 1,1% en poids), SnO₂ (< 1,0% en poids), UO₂ (< 0,4% en poids), ThO₃ et Sc₂O₃ (< 0,3% en poids).

Tableau V-4 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) des colombo-tantalites des pegmatites du Cap de Creus et leur formule structurale associées.

Type of Pegmatite	I-a	I-b		II		III		IV	
Microprobe (wt %)		average	range	average	range	average	range	average	range
		(n = 17)		(n = 13)		(n = 22)		(n = 67)	
MnO	n.a	4,14	[2,48-6,71]	5,68	[4,91-6,13]	6,15	[4,89-7,68]	5,63	[1,37-8,52]
FeO	n.a	14,25	[10,85-16,77]	12,80	[12,27-13,76]	11,38	[8,96-13,61]	11,73	[8,68-15,73]
ZrO ₂	n.a	0,00	[0,00-0,06]	0,03	[0,00-0,21]	0,13	[0,00-1,06]	0,02	[0,00-0,25]
Sc ₂ O ₃	n.a	0,09	[0,00-0,27]	0,02	[0,00-0,04]	0,02	[0,00-0,05]	0,02	[0,00-0,05]
Ta ₂ O ₅	n.a	19,64	[7,70-35,20]	25,06	[10,14-30,51]	36,80	[12,24-62,47]	38,77	[14,96-64,09]
WO ₃	n.a	0,35	[0,00-1,31]	0,32	[0,00-1,75]	0,08	[0,00-0,26]	0,10	[0,00-1,07]
SnO ₂	n.a	0,03	[0,00-0,07]	0,16	[0,00-0,32]	0,16	[0,00-0,97]	0,15	[0,02-0,47]
PbO	n.a	0,00	[0,00-0,01]	0,00	[0,00-0,01]	0,01	[0,00-0,13]	0,00	[0,00-0,07]
ThO ₂	n.a	0,07	[0,00-0,26]	0,06	[0,00-0,27]	0,06	[0,00-0,26]	0,04	[0,00-0,20]
UO ₂	n.a	0,03	[0,00-0,10]	0,07	[0,00-0,18]	0,08	[0,00-0,40]	0,03	[0,00-0,15]
TiO ₂	n.a	0,80	[0,46-1,39]	0,94	[0,27-1,43]	0,54	[0,10-1,27]	0,27	[0,00-0,67]
Nb ₂ O ₅	n.a	60,66	[45,96-71,19]	55,58	[49,64-70,79]	45,87	[19,88-70,84]	43,64	[20,94-67,29]
Al ₂ O ₃	n.a	0,01	[0,00-0,03]	0,01	[0,00-0,03]	0,01	[0,00-0,04]	0,01	[0,00-0,08]
SiO ₂	n.a	0,00	[0,00-0,00]	0,00	[0,00-0,00]	0,00	[0,00-0,00]	0,00	[0,00-0,00]
Total	n.a	100,07	[98,00-101,54]	100,73	[98,18-103,01]	101,28	[99,00-103,52]	100,40	[97,55-103,23]
Nb/Ta	n.a	4,14	[1,31-9,19]	2,62	[1,63-6,83]	2,20	[0,33-5,79]	1,55	[0,33-4,40]
Ta#	n.a	0,24	[0,10-0,43]	0,31	[0,13-0,38]	0,45	[0,15-0,75]	0,47	[0,19-0,75]
Mn#	n.a	0,23	[0,13-0,38]	0,31	[0,27-0,33]	0,35	[0,31-0,42]	0,32	[0,08-0,48]
Fe ²⁺	n.a	0,719	[0,576-0,803]	0,661	[0,637-0,696]	0,615	[0,557-0,664]	0,650	[0,500-0,878]
Mn ²⁺	n.a	0,216	[0,120-0,370]	0,297	[0,260-0,315]	0,338	[0,295-0,413]	0,312	[0,077-0,460]
Site A	n.a	0,935	[0,898-0,974]	0,957	[0,936-0,983]	0,953	[0,925-0,988]	0,962	[0,920-0,997]
Ta ⁵⁺	n.a	0,330	[0,120-0,625]	0,424	[0,161-0,526]	0,694	[0,189-1,274]	0,720	[0,239-1,305]
Nb ⁵⁺	n.a	1,656	[1,357-1,841]	1,546	[1,424-1,824]	1,291	[0,673-1,818]	1,277	[0,709-1,768]
Ti ⁴⁺	n.a	0,036	[0,021-0,060]	0,044	[0,011-0,068]	0,028	[0,004-0,071]	0,013	[0,000-0,034]
Sn ⁴⁺	n.a	0,001	[0,000-0,002]	0,004	[0,000-0,008]	0,004	[0,000-0,029]	0,004	[0,001-0,012]
W ⁶⁺	n.a	0,005	[0,000-0,020]	0,005	[0,000-0,028]	0,001	[0,000-0,004]	0,002	[0,000-0,019]
Sc ³⁺	n.a	0,005	[0,000-0,015]	0,001	[0,000-0,002]	0,001	[0,000-0,003]	0,001	[0,000-0,003]
Zr ⁴⁺	n.a	0,000	[0,000-0,002]	0,001	[0,000-0,006]	0,005	[0,000-0,039]	0,001	[0,000-0,008]
U ⁴⁺	n.a	0,000	[0,000-0,001]	0,001	[0,000-0,002]	0,001	[0,000-0,006]	0,000	[0,000-0,002]
Site B	n.a	2,033	[2,012-2,047]	2,025	[2,014-2,037]	2,025	[2,010-2,048]	2,018	[2,004-2,033]
Site A + B	n.a	2,968	[2,941-2,993]	2,983	[2,962-3,003]	2,978	[2,957-3,002]	2,980	[2,953-3,001]
Nb/Ta apfu	n.a	6,883	[2,17-15,27]	4,360	[2,71-11,36]	3,663	[0,54-9,62]	2,571	[0,54-7,32]
Ta# apfu	n.a	0,166	[0,06-0,32]	0,216	[0,08-0,27]	0,353	[0,09-0,65]	0,361	[0,12-0,65]

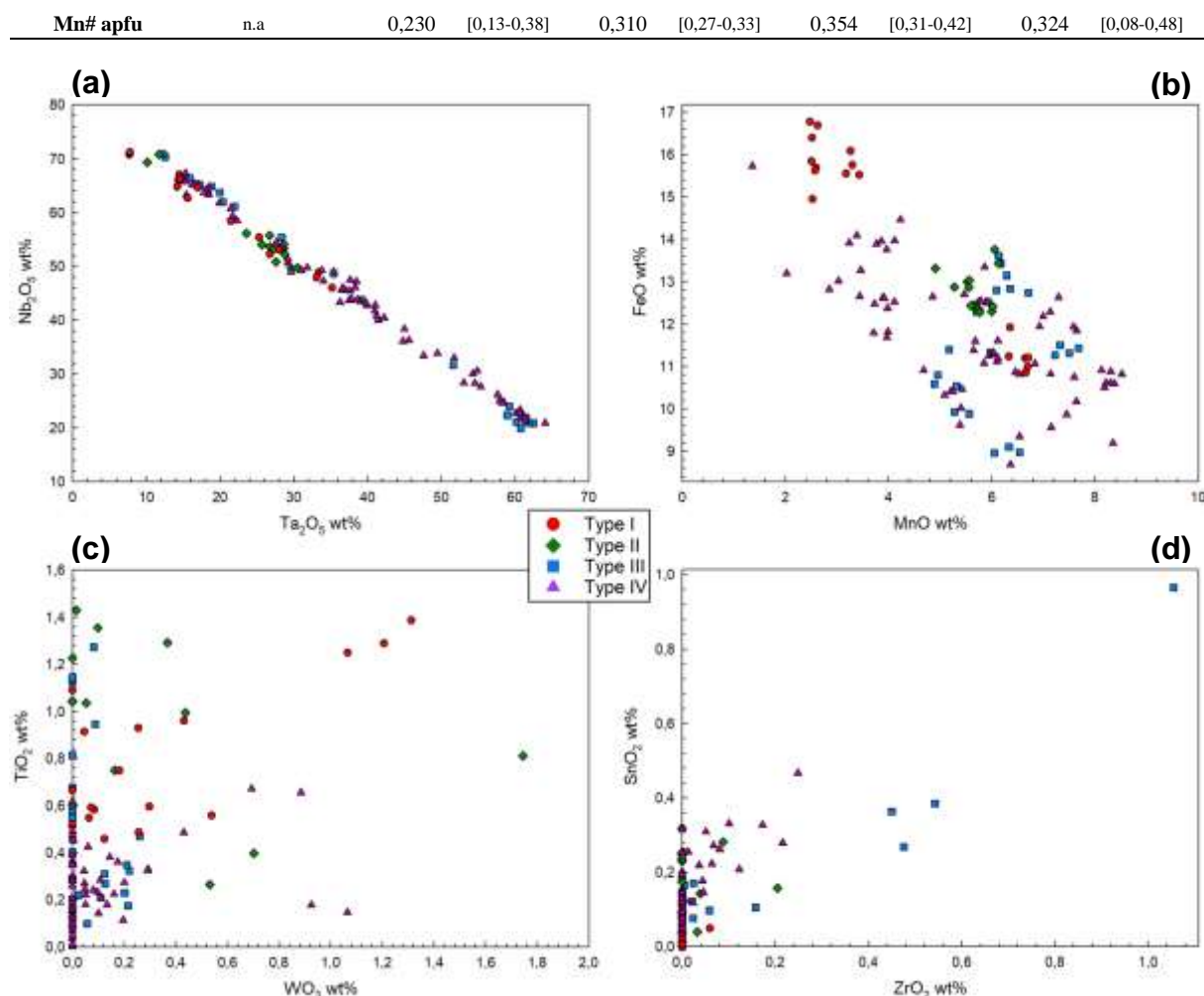


Fig. V-31 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les colombo-tantalites des pegmatites du Cap de Creus. a) Ta_2O_5 vs Nb_2O_5 , b) MnO vs FeO , c) WO_3 vs TiO_2 et d) ZrO_2 vs SnO_2 . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Bien que les CGM du CdC soient caractérisées par de larges gammes de compositions, peu de variations d'un type de pegmatite à un autre sont observées. Que ce soit le Mn le Fe ou encore le Ti, leurs variations en concentration affectent aussi bien les pegmatites les moins évoluées (type I et II) que les pegmatites les plus évoluées (type III et IV) (Fig. V-32a, b et c). Toutefois bien que les concentrations soient très faibles ($< 0,27$ % poids de Sc_2O_3), les pegmatites de type I sont plus enrichies en Sc que le reste des pegmatites du CdC (Fig. V-32d). Egalement, les pegmatites les moins évoluées -type I & II- sont uniquement composées de ferrocolombite alors que les pegmatites les plus évoluées -type III & IV- présentent aussi bien de la ferrocolombite que de la ferrotantalite (Fig. V-32a).

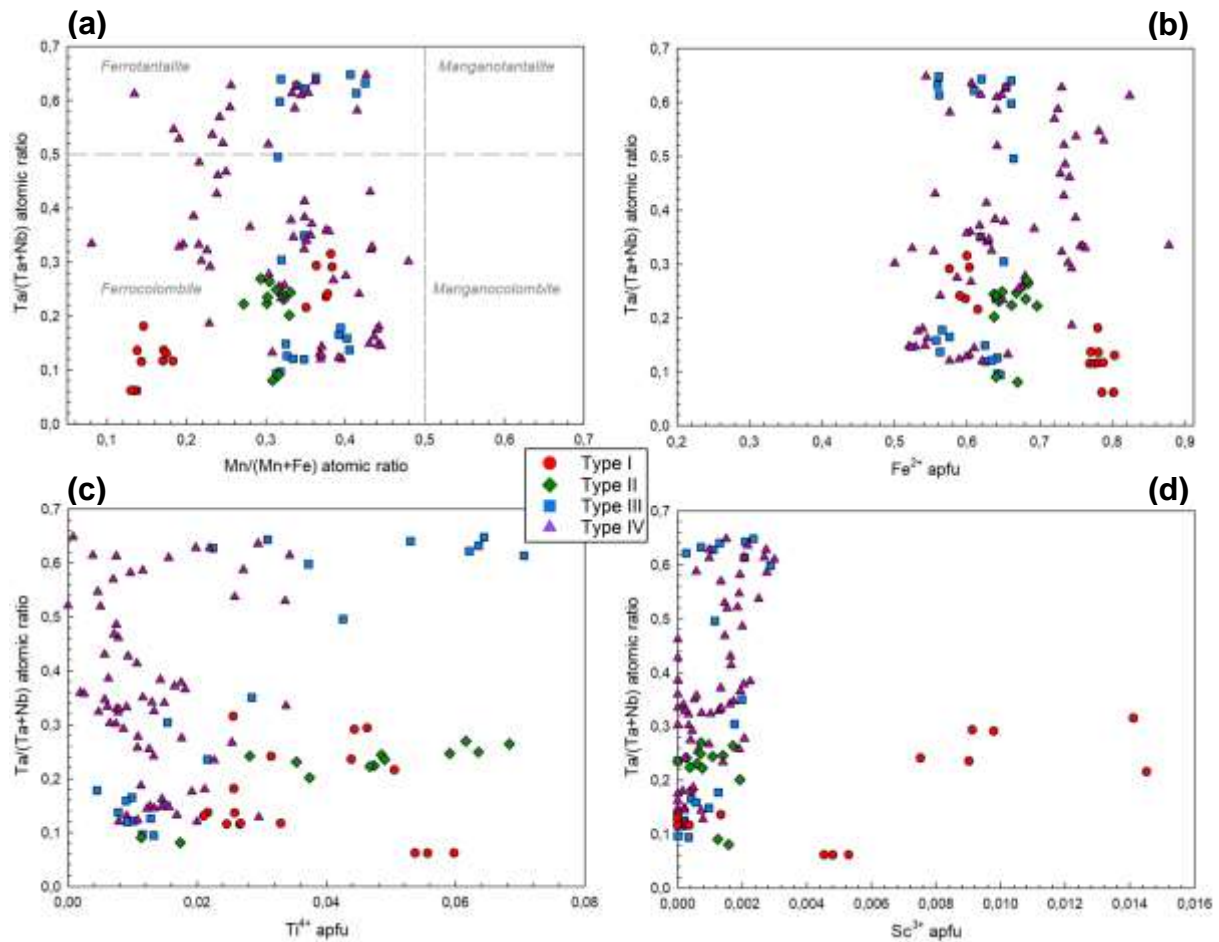


Fig. V-32 : Diagrammes géochimiques établis d'après les formules structurales calculées des colombo-tantalites des pegmatites du Cap de Creus. Diagramme Ta / (Ta + Nb) versus a) Mn / (Mn + Fe), b) Fe²⁺, c) Ti⁴⁺ et d) Sc³⁺. Toutes les concentrations sont données en apfu (atom per formula unit).

Partie 3. Processus primaires vs secondaires de cristallisation

1. Introduction

Bien que les pegmatites du Cap de Creus soient classées dans la famille des pegmatites LCT (Alfonso *et al.*, 2003), il est important de signaler que la majorité d'entre elles sont faiblement évoluées (dans le modèle de London), et ne présentent pas de minéralisations économiquement rentables. Au Cap de Creus, les pegmatites présentent plusieurs stades de cristallisation. Décrit dans la « partie 1. Pétrologie des pegmatites » de ce chapitre, l'ensemble des pegmatites du CdC présentent un premier stade de cristallisation magmatique primaire, caractérisé notamment par des minéralisations en minéraux riches en

métaux rares et l'apparition, à partir des pegmatites de type II, de nombreux phosphates exotiques. Egalement, l'ensemble des pegmatites sont affectées par des processus de cristallisation que l'on peut qualifier de secondaires. Sur des critères texturales, pétrologiques mais également géochimiques, ces processus de cristallisation secondaires ont été caractérisés afin de comprendre leur origine, mais également leur effet sur l'environnement (e.g. lessivage des roches).

2. Les processus secondaires de cristallisation

D'après des caractéristiques texturales mais également pétrologiques, les minéralisations secondaires (magmatiques et hydrothermales / métamorphiques) présentent au sein des pegmatites du CdC s'expriment majoritairement sous deux formes :

- **les veines de type I** : Ces veines, observables qu'en microscopie optique (taille des minéraux inférieure au millimètre), sont interstitielles aux minéraux majeurs constituants (quartz, feldspaths), et sont présentes dans la totalité des pegmatites du CdC. Elles peuvent être composées quasi-exclusivement de quartz, de muscovite, ou encore d'apatite, ou bien présenter un assemblage de ces trois minéraux (Fig. V-33). Dans ces veines, les muscovites sont fibreuses et de taille relativement petites ($< 300 \mu\text{m}$). Egalement, l'apatite se présente majoritairement sous forme d'amas de minéraux sub-automorphes de taille plurimicrométriques, mais il n'est pas rare d'observer des minéraux automorphes à sub-automorphes de taille relativement grande ($> 500 \mu\text{m}$). Dans les pegmatites évoluées (Type II) à très évoluées (Type IV) il n'est pas rare non plus d'observer des textures de remplacement affectant l'apatite et caractérisées par des phosphates de Be (Fig. V-34). Ces veines s'expriment de manière pervasive sur l'ensemble des corps pegmatitiques, et créent, au contact des muscovites primaires magmatiques, des zones de recristallisations partielles (Fig. V-35).

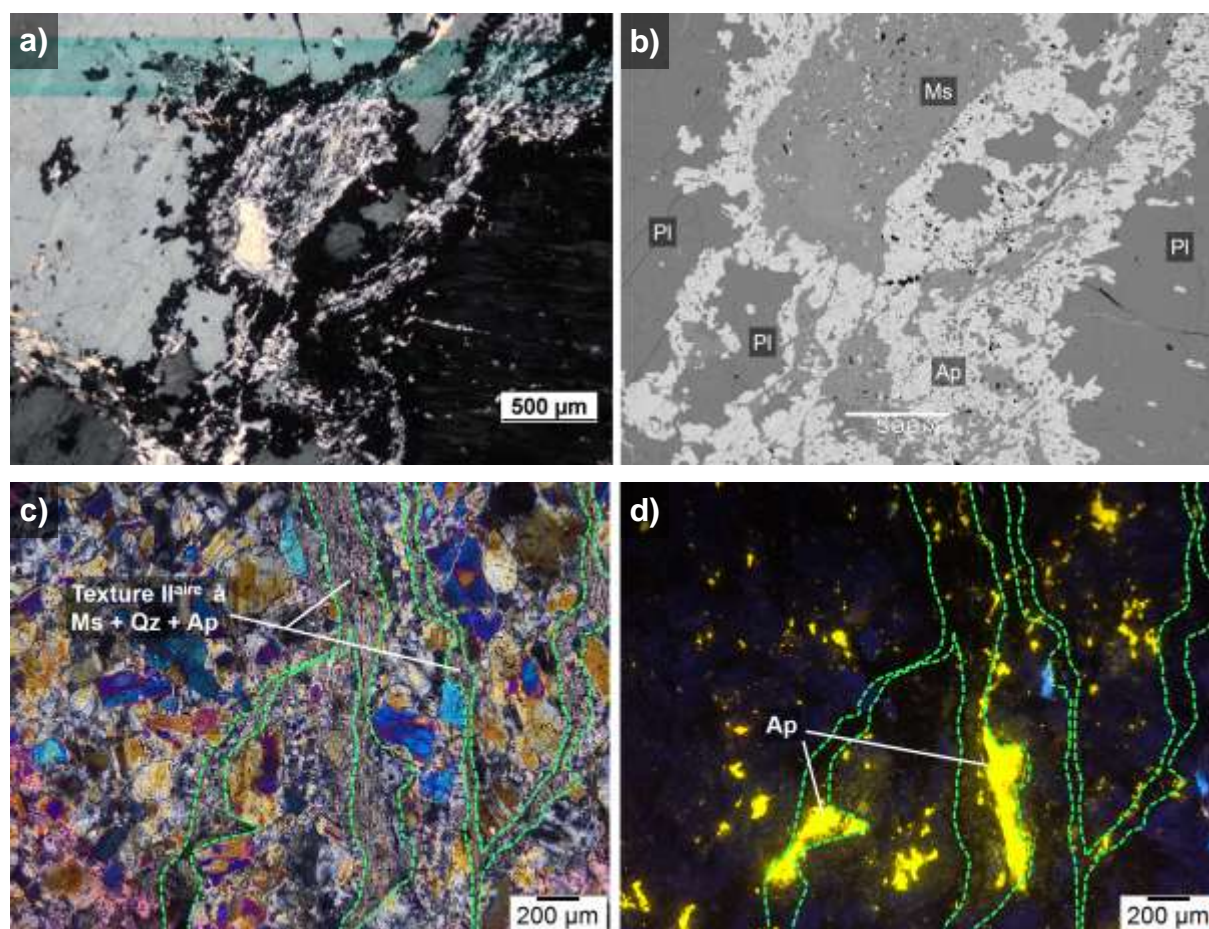


Fig. V-33 : Observations en microscopie a) optique (LPA) et b) électronique (MEB) d'une veine de type I (quartz + muscovite) caractérisée par une forte abondance en apatite. c) Photographie en microscopie optique (LPA) et d) cathodoluminescence de veines de type I riches en apatite (pegmatite de type IV).

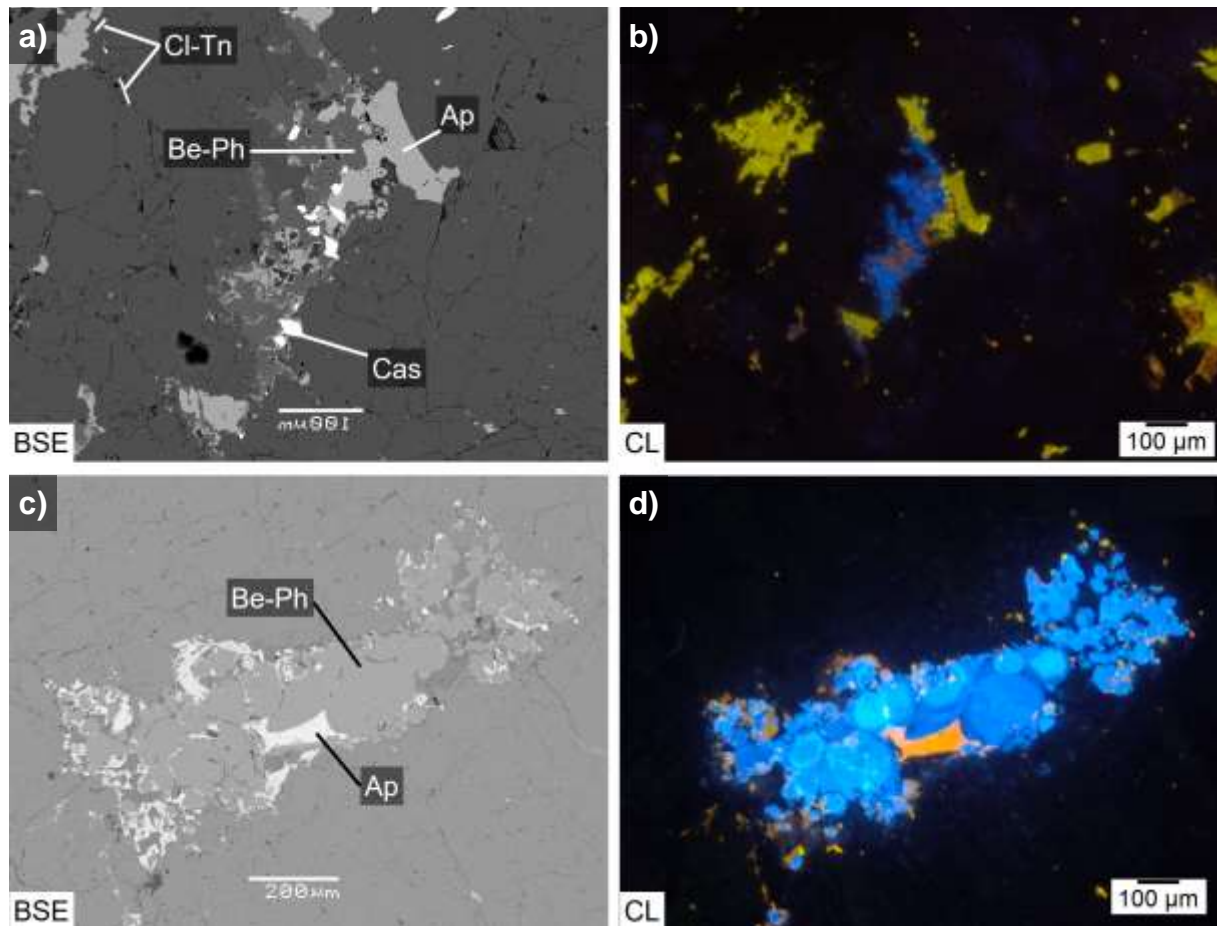


Fig. V-34 : Observations en a et c) microscopie électronique (MEB), et b et d) cathodoluminescence de veines de type I (quartz + apatite) où l'apatite est remplacée par un phosphate de Be.

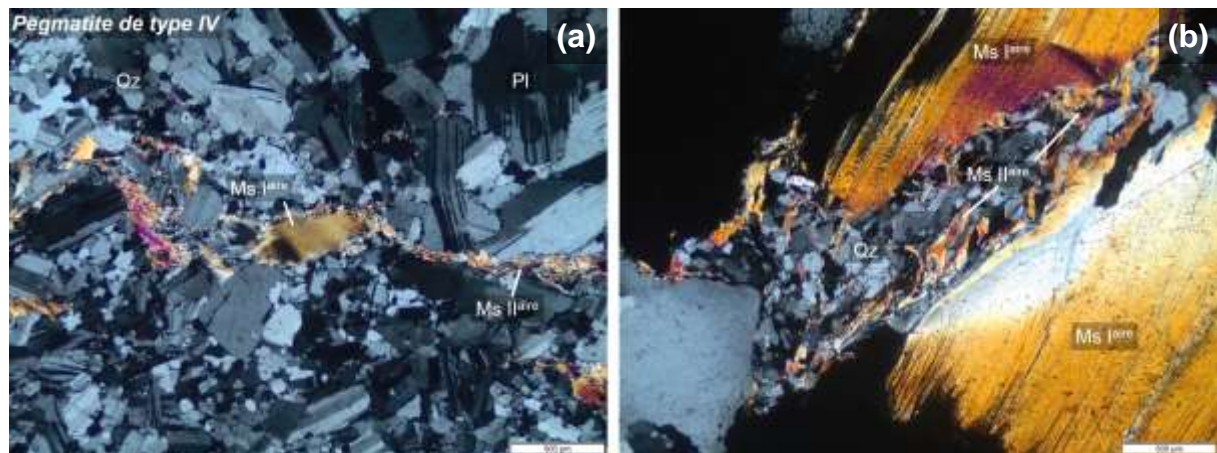


Fig. V-35 : Veines de type I composées de quartz et muscovite, interstitielles aux minéraux majeurs constitutifs (quartz, feldspaths, micas primaires magmatiques), et affectant des muscovites primaires magmatiques, microscopie optique (LPA). a) Pegmatite de type IV, b) pegmatite de type I-b.

- **les veines de type II** : Ces veines de taille extrêmement variable (quelques millimètres à plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur), recoupent l'ensemble des minéraux primaires (Fig. V-36 à 39) et affectent l'ensemble des pegmatites du CdC. Selon le type de pegmatites auquel on s'intéresse, ces veines présentent des caractéristiques bien distinctes. Au sein des pegmatites les moins évoluées (type I), ces veines sont essentiellement composées de quartz. Elles présentent également des abondances variables en tourmaline, biotite et sillimanite (Fig. V-36). De plus, de faibles abondances en apatite ont été observées. Ces veines, pouvant recouper jusqu'à la totalité du corps pegmatitique (Fig. V-37) peuvent également être observées dans les micaschistes, sans lien apparent avec les pegmatites (cf. VI. Pétrogéochimie des roches encaissantes [...]).

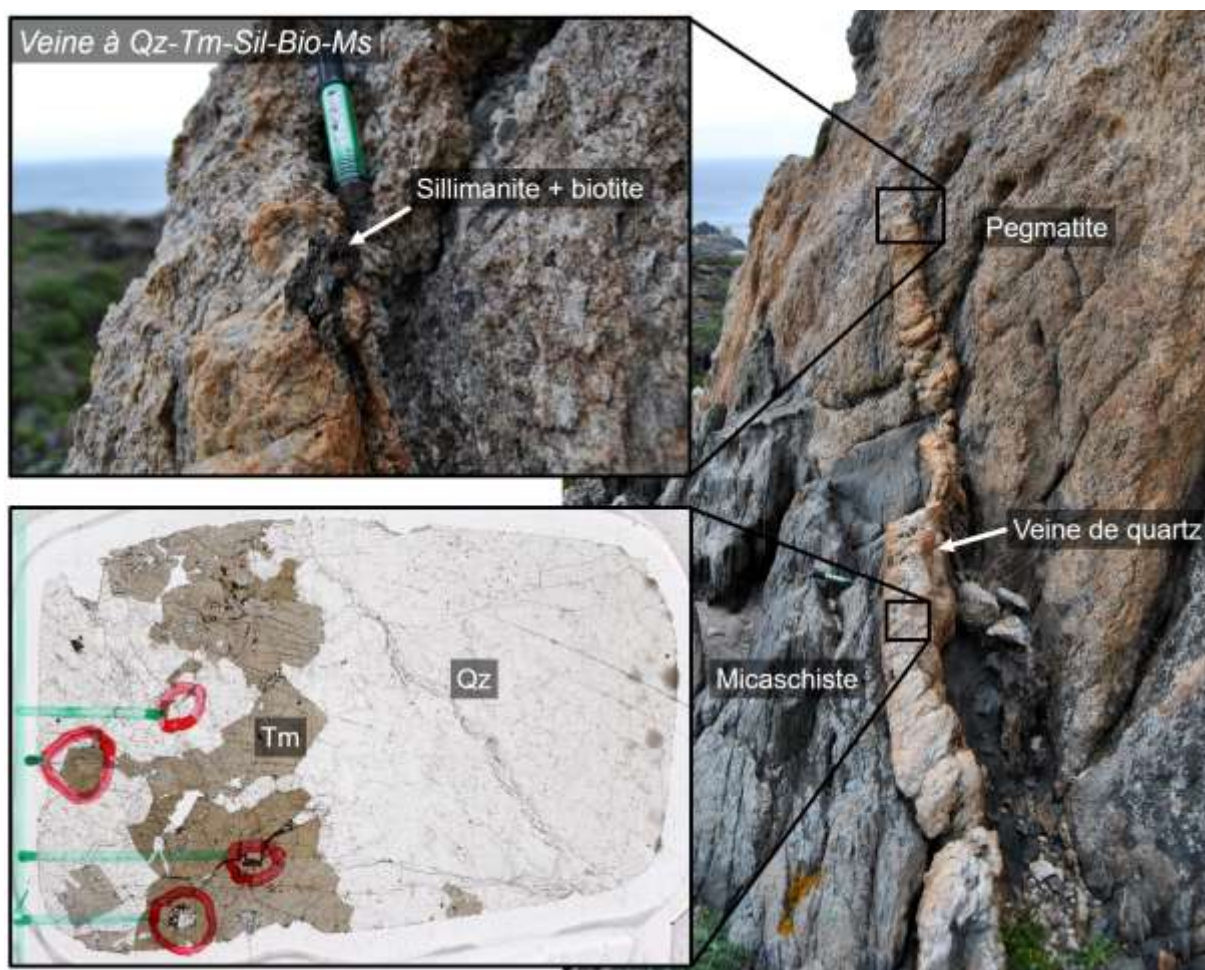


Fig. V-36 : Veine de quartz + tourmaline + sillimanite + biotite + muscovite recoupant une pegmatite de type I-a, Puig de Culip.



Fig. V-37 : Veines tardives de quartz recoupant l'ensemble d'une pegmatite de type I-b, est de la zone de Tudela.

A partir des pegmatites de type II et jusqu'aux pegmatites de type IV, les veines de quartz ne présentent plus que de la tourmaline, de la muscovite et de faibles abondances en apatite. Egalement dès les pegmatites de type II, il y a apparition de veines exclusivement composées d'apatite. Tout comme les veines de quartz, ces veines recoupent l'ensemble des minéraux (Fig. V-38 et 39), cependant leur taille ne dépasse pas les quelques dizaines de centimètres (Fig. V-38a), et leur abondance est plus faible que les veines de quartz.

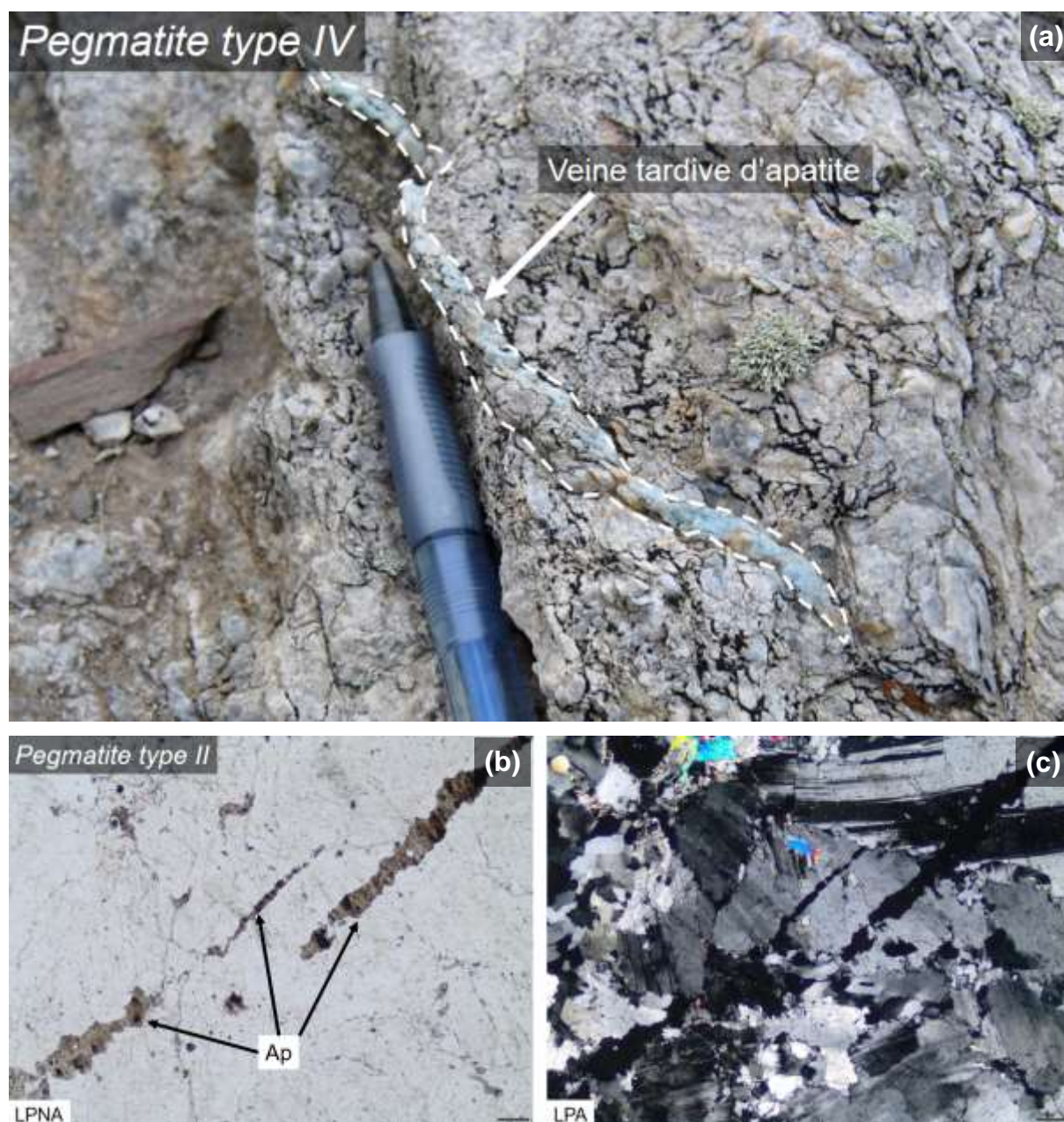


Fig. V-38 : Observations macroscopique (terrain) et microscopiques (optique) des textures caractéristiques des veines de type II (veines d'apatite) au sein des pegmatites du Cap de Creus. a) Veine pluri-centimétriques tardive d'apatite au sein d'une pegmatite de type IV. b et c) Veine pluri-millimétriques tardive d'apatite au sein d'une pegmatite de type II.

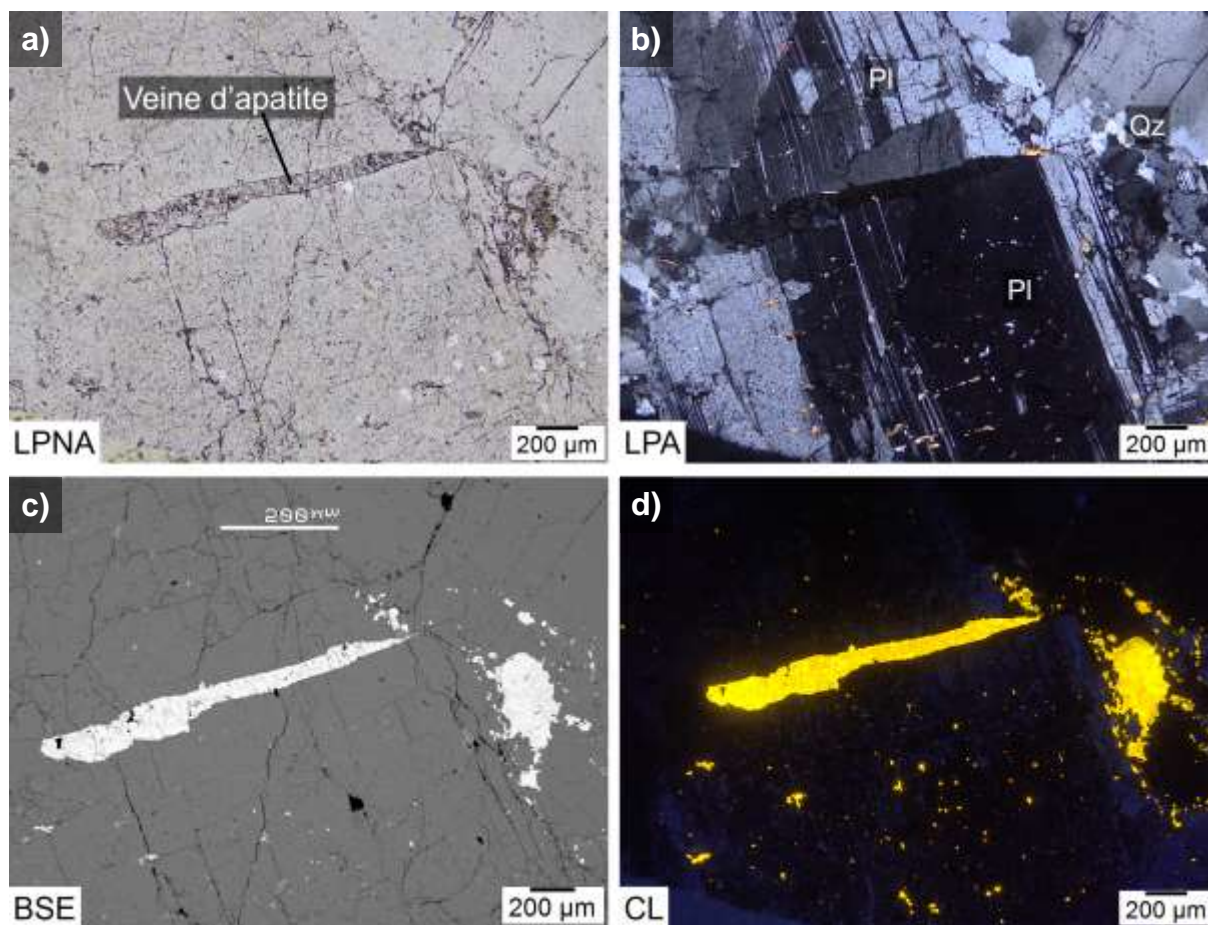


Fig. V-39 : Veine de type II (uniquement composée d'apatite et recoupant l'ensemble des minéraux) observée en a et b) microscopie optique (LPNA et LPA respectivement), c) microscopie électronique (MEB) et d) cathodoluminescence.

3. Origine et nature des processus secondaires de cristallisation

Afin d'établir la nature et l'origine de cet événement secondaire non magmatique, des analyses géochimiques ont été faites aussi bien sur les muscovites que sur les apatites des différentes veines observées (veines de type I et de type II).

a. Muscovite secondaire hydrothermale / métamorphique

Etant donné que les concentrations en éléments majeurs des muscovites des pegmatites ne permettent pas d'établir de tendance sur les différentes générations observées (cf. V.2. Géochimie des pegmatites), des analyses en éléments traces ont été faites. Les résultats obtenus, couplés aux données des muscovites primaires magmatiques, montrent plusieurs tendances caractéristiques (Fig. V-40). Les muscovites des textures hydrothermales / métamorphiques secondaires (veines de type I), dont les données sont présentées dans le

tableau V-5, présentent un rapport Rb / Cs compris entre 17 et 237, et de faibles concentrations en Cs (21 ppm de moyenne), sans tendance liée au type de pegmatite (Fig. V-40a et b). Egalement ces muscovites montrent une diminution significative du rapport Nb / Ta (de 1 à 11) et un appauvrissement en Sn (168 ppm de moyenne), en Mn (30 ppm de moyenne) et en B (85 ppm de moyenne) par rapport aux muscovites primaires magmatiques. Enfin on peut noter un léger enrichissement en P (629 ppm de moyenne), Ba (185 ppm de moyenne) et Li (60 ppm de moyenne) en moindre mesure des muscovites secondaires par rapport aux muscovites primaires.

Tableau V-5 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICMPS) des muscovites secondaires (veines de type I) des pegmatites du Cap de Creus.

Type of Pegmatite	I*		II		III		IV	
LA-ICPMS (ppm)								
	average	range	average	range	average	range	average	range
	(n = 4)		(n = 5)		(n = 5)		(n = 16)	
Li7	102	[81-123]	32	[20-55]	166	[144-188]	45	[20-100]
Be9	9	[8-10]	26	[6-75]	12	[10-14]	34	[10-252]
B11	74	[64-79]	81	[54-115]	50	[42-64]	99	[41-275]
P31	135	[118-155]	3550	[894-6206]	174	[147-188]	506	[50-854]
Sc45	22	[5-38]	2	[1-5]	1	[1-1]	14	[1-164]
Rb85	1006	[712-1739]	509	[20-919]	1146	[770-1876]	2042	[1138-4602]
Sr86	b.d.l	[0-0]	415	[31-799]	26	[21-37]	16	[3-37]
Y89	0	[0-0]	2	[0-5]	b.d.l	[0-0]	0	[0-2]
Zr91	0	[0-0]	0	[0-1]	1	[1-1]	0	[0-0]
Nb93	206	[168-242]	5	[1-14]	89	[50-120]	85	[27-184]
Sn120	256	[114-338]	97	[3-210]	164	[139-218]	170	[64-398]
Cs133	26	[11-35]	11	[0-18]	23	[4-62]	22	[7-55]
Ba137	24	[6-32]	407	[51-1233]	222	[39-306]	144	[8-1153]
La139	0	[0-0]	1	[0-1]	b.d.l	[0-0]	0	[0-0]
Ce140	0	[0-0]	1	[0-2]	0	[0-0]	0	[0-0]
Gd157	b.d.l	[0-0]	1	[1-1]	b.d.l	[0-0]	b.d.l	[0-0]
Yb173	b.d.l	[0-0]	0	[0-0]	b.d.l	[0-0]	b.d.l	[0-0]
Lu175	b.d.l	[0-0]	b.d.l	[0-0]	b.d.l	[0-0]	b.d.l	[0-0]
Hf177	b.d.l	[0-0]	b.d.l	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]
Ta181	38	[21-57]	1	[1-2]	47	[19-90]	45	[5-87]
Pb208	4	[1-12]	13	[1-60]	11	[7-16]	3	[0-12]
Th232	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]	0	[0-0]
U238	1	[0-2]	7	[0-31]	0	[0-0]	1	[0-4]
Nb/Ta	6	[4-8]	3	[1-6]	2	[1-4]	3	[1-11]
Rb/Cs	57	[22-156]	45	[40-55]	138	[17-237]	121	[36-227]
Li/Cs	4	[3-7]	11	[1-41]	4	[3-4]	3	[0-13]

*Ensemble des pegmatites de type I (type I-a et I-b)

b.d.l : below detection limit

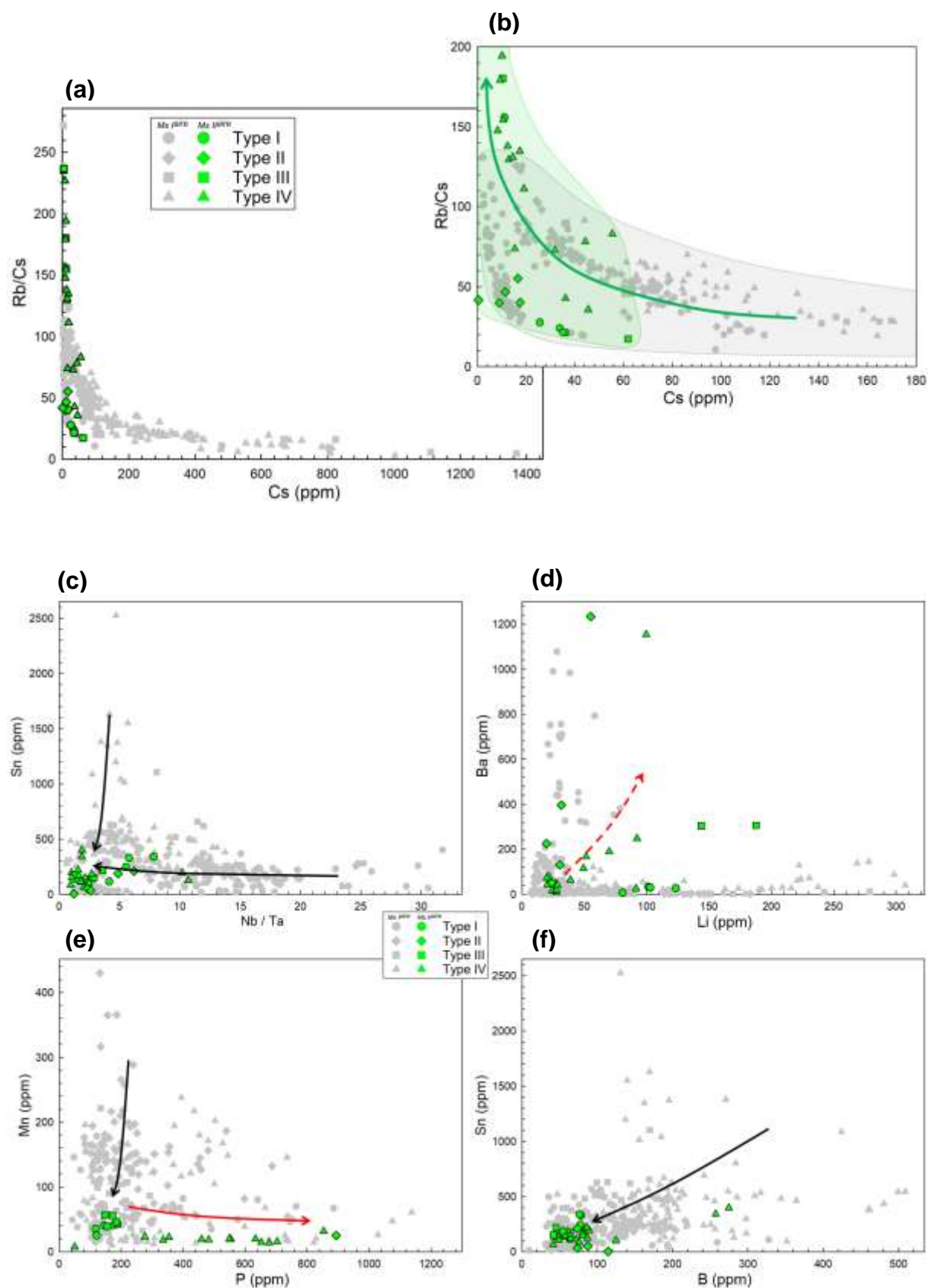


Fig. V-40 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites secondaires (hydrothermales / métamorphiques) des pegmatites du Cap de Creus. a et b) Diagramme Rb / Cs vs Cs, c) Nb / Ta vs Sn, d) Li vs Ba, e) P vs Mn et f) B vs Sn. Toutes les concentrations sont données en ppm.

Ces phénomènes d'appauvrissement et d'enrichissement en certains éléments est d'autant plus visible lorsqu'on s'intéresse aux effets de bord (Fig. V-41). Dans une pegmatite de type IV, l'analyse en périphérie des muscovites magmatiques primaires montre clairement un « lessivage » avec une augmentation du rapport Rb / Cs, un appauvrissement en Sn et un enrichissement en Li, tandis que le cœur montre des concentrations typiques des muscovites issues de la cristallisation d'un magma fractionné. Ces phénomènes ont été observés sur plusieurs muscovites primaires magmatiques, quel que soit le type de pegmatite.

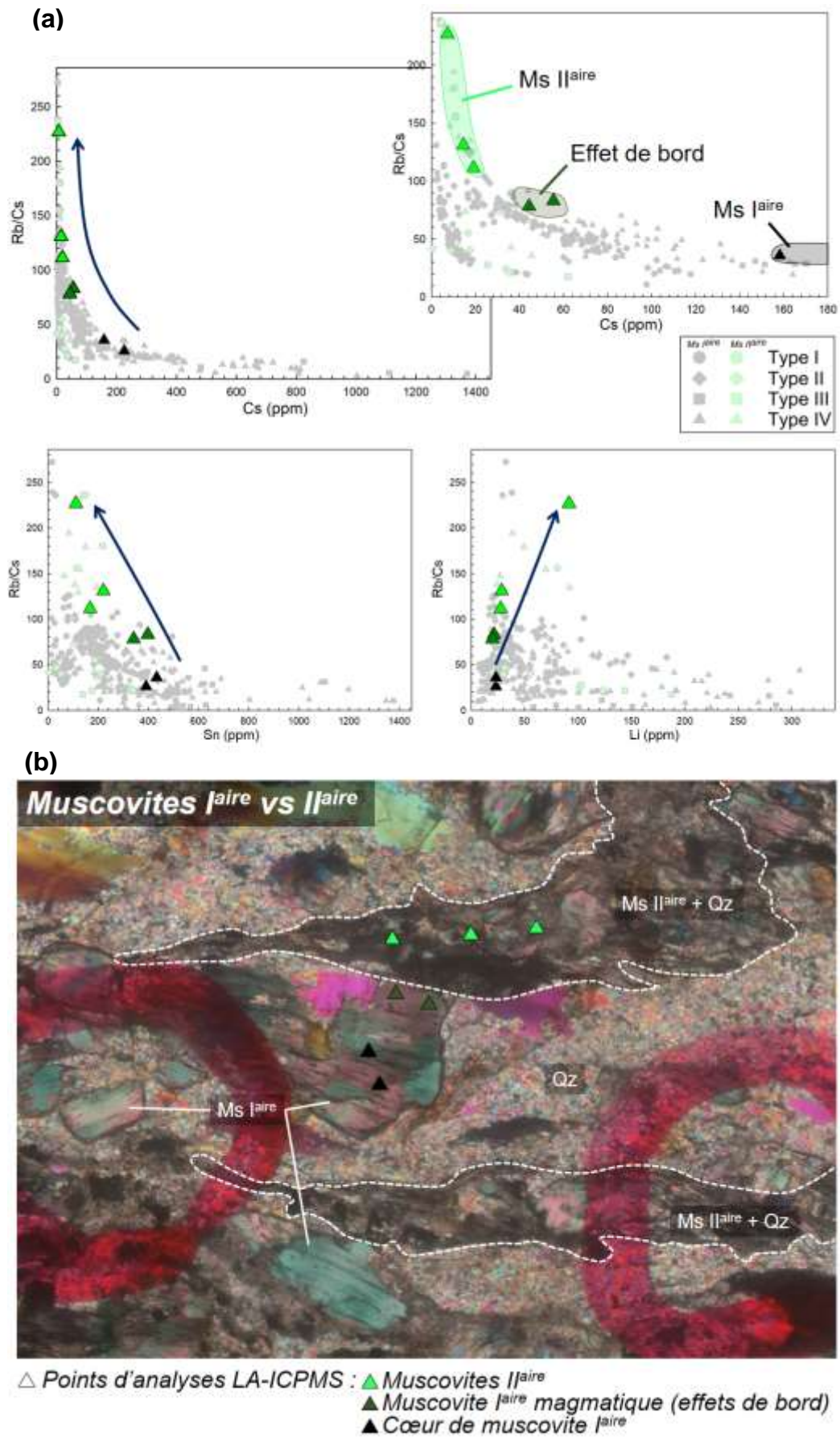


Fig. V-41 : a) Analyses géochimiques (éléments traces) et b) localisation des points d'analyses (LA-ICPMS) mettant en évidence des effets de bord dans les muscovites primaires magmatiques.

b. Apatite

Pour rappel, l'apatite est omniprésente dans les pegmatites du CdC, et présentent des textures clairement établies comme secondaire. Elles cristallisent de manière interstitielle aux minéraux majeurs constituants (veines de type I), mais également elles peuvent recouper l'ensemble des minéraux sous forme de veines tardives (veines de type II).

Afin d'identifier les différentes caractéristiques géochimiques des apatites, ces dernières ont été classées dans un premier temps selon la typologie des pegmatites auxquelles elles appartiennent. Les analyses en éléments majeurs (tableau V-6) des apatites de 6 pegmatites montrent de larges gammes de composition, quel que soit l'élément auquel on s'intéresse (Fig. V-42). Les apatites des pegmatites montrent des concentrations en CaO comprises entre 49,4 et 57,6 % poids, P₂O₅ comprises entre 43,2 et 46,0 % poids, MnO comprises entre 0,04 et 3,9 % poids et F comprises entre 1,86 et 3,66 % poids. De faibles concentrations en FeO (de 0 à 0,96 % poids), Sr (de 0 à 0,58 % poids) et Cl (de 0,02 à 0,43 % poids) ont également été détectées.

Quel que soit le type de pegmatite (type II ou type IV), les apatites des pegmatites présentent des concentrations en éléments majeurs relativement similaires. Seul le Cl est significativement plus concentré dans les pegmatites de type II (0,26 % poids de moyenne) que dans les pegmatites de type IV (0,08 % poids de moyenne) (Fig. V-42c).

Tableau V-6 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des apatites des roches (pegmatites et encaissants) du Cap de Creus classées selon la lithologie.

Type of Pegmatite	Pegmatite			
	II		IV	
	Microprobe (wt %)		Microprobe (wt %)	
	average	range	average	range
	(n = 47)		(n = 14)	
F	2,74	[1,86-3,62]	3,08	[2,46-3,66]
Cl	0,26	[0,03-0,43]	0,08	[0,02-0,43]
H₂O	0,41	[0,00-0,94]	0,29	[0,00-0,57]
Na₂O	0,01	[0,00-0,08]	0,03	[0,00-0,06]
MgO	0,01	[0,00-0,06]	0,00	[0,00-0,02]
CaO	52,64	[49,40-57,61]	53,03	[50,16-55,21]
MnO	2,55	[0,04-3,91]	1,62	[0,34-3,25]
FeO	0,43	[0,00-0,96]	0,31	[0,17-0,49]
SrO	0,19	[0,04-0,49]	0,20	[0,00-0,58]
Al₂O₃	0,02	[0,00-0,09]	0,03	[0,00-0,13]
La₂O₃	0,04	[0,00-0,12]	0,03	[0,00-0,07]
Ce₂O₃	0,03	[0,00-0,15]	0,05	[0,00-0,25]
SiO₂	0,05	[0,00-0,42]	0,11	[0,01-0,56]
P₂O₅	44,07	[43,19-45,95]	44,06	[43,41-45,08]
SO₃	0,03	[0,00-0,12]	0,02	[0,00-0,08]
O=F, Cl	1,21	[0,80-1,56]	1,31	[1,05-1,55]
Total	102,28	[99,79-105,85]	101,62	[100,06-103,55]
CaO /MnO	111,63	[13-1428]	57,21	[15-160]

LA-ICPMS (ppm)				
	average	range	average	range
	(n = 17)		(n = 18)	
Li7	19	[1-48]	11	[4-17]
Be9	2160	[1-22368]	5	[2-11]
B11	11	[8-13]	15	[15-15]
Sc45	2	[1-3]	1	[1-2]
Ti47	167	[70-304]	119	[58-257]
Fe57	2859	[936-5966]	2177	[1608-3043]
Rb85	17	[0-105]	35	[0-199]
Sr86	1798	[918-3232]	3752	[2020-5133]
Y89	45	[1-149]	31	[10-104]
Zr91	2	[0-4]	7	[7-7]
Nb93	3	[0-19]	1	[0-8]
Sn120	4	[0-21]	9	[1-24]
Cs133	8	[0-22]	1	[0-3]
Ba137	39	[1-587]	5	[1-40]
La139	34	[7-70]	32	[17-65]
Ce140	54	[8-96]	70	[35-139]
Pr141	4	[1-8]	11	[5-21]
Nd146	13	[1-28]	47	[18-113]
Sm147	4	[0-9]	13	[4-38]
Eu151	8	[1-20]	17	[10-23]
Gd157	6	[1-13]	9	[3-38]
Tb159	1	[0-3]	1	[0-4]
Dy163	5	[0-19]	6	[2-18]
Ho165	1	[0-4]	1	[0-3]
Er167	5	[0-14]	2	[1-6]
Tm169	1	[0-2]	0	[0-1]
Yb173	5	[0-13]	2	[1-4]
Lu175	1	[0-2]	0	[0-1]
Hf177	0	[0-0]	0	[0-0]
Ta181	4	[0-31]	0	[0-1]
Pb208	54	[29-117]	44	[23-92]
Th232	11	[1-32]	8	[0-39]
U238	145	[16-291]	232	[6-545]
REE lourdes	19	[0-70]	19	[3-73]

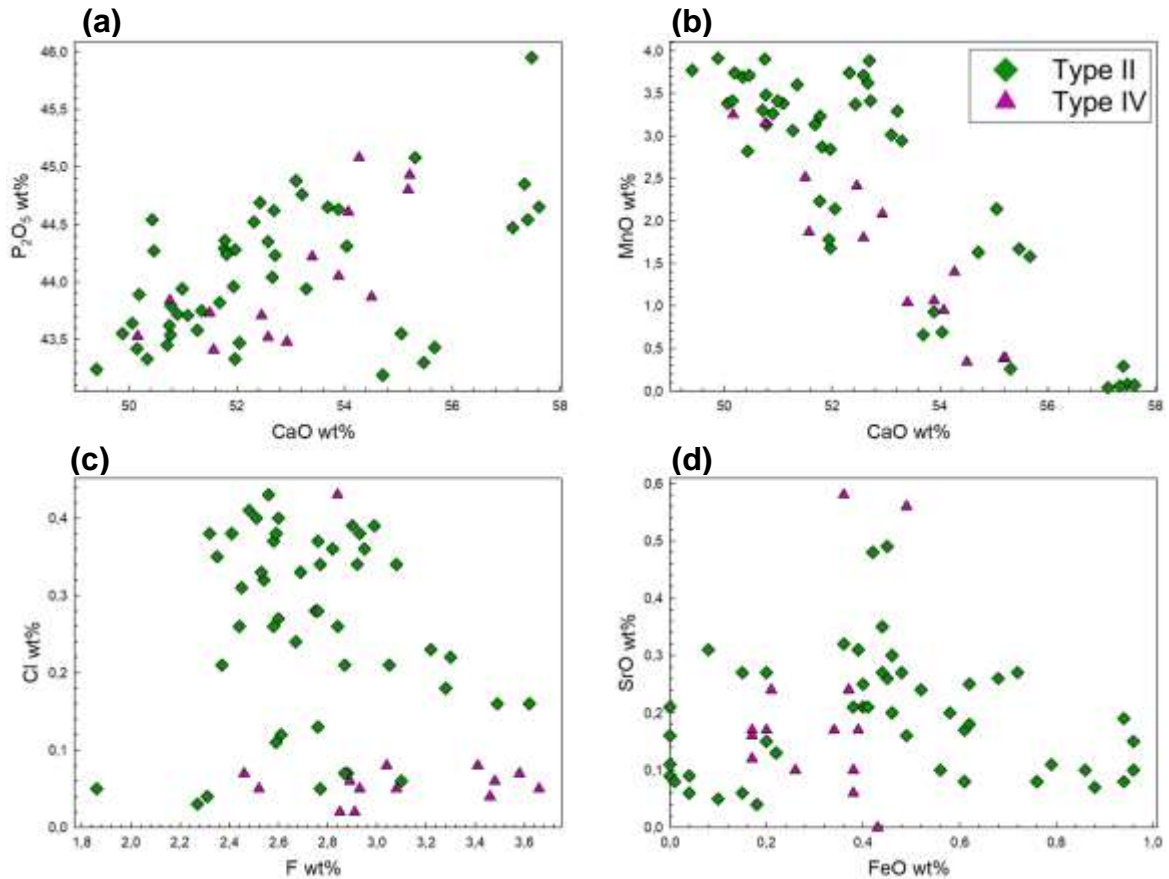


Fig. V-42 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les apatites des pegmatites du Cap de Creus. a) CaO vs P₂O₅, b) CaO vs MnO, c) F vs Cl et d) FeO vs SrO. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Les apatites des pegmatites ont également été classées selon leur origine texturale : veines de type I (apatite interstitielle aux minéraux majeurs constituants -quartz, feldspaths-) et veines de type II (veines d'apatites recoupant l'ensemble des minéraux) (Fig. V-43 & Tableau V-7). Les résultats montrent que pour des concentrations similaires en CaO, les apatites interstitielles sont systématiquement appauvries en MnO par rapport aux apatites des veines de type II. Une partie des apatites interstitielles sont également caractérisées par de faibles concentrations en CaO (jusqu'à 49,4 % poids) et de fortes concentrations en F (jusqu'à 3,66 % poids) et FeO (jusqu'à 0,96 % poids).

Tableau V-7 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des apatites des pegmatites du Cap de Creus classées selon l'origine texturale (veine de type I vs veine de type II).

Type of Vein	I		II	
Microprobe (wt %)	average	range	average	range
	(n = 44)		(n = 17)	
F	2,92	[2,27-3,66]	2,55	[1,86-2,99]
Cl	0,18	[0,02-0,43]	0,32	[0,05-0,43]
H₂O	0,34	[0,00-0,76]	0,50	[0,26-0,94]
Na₂O	0,02	[0,00-0,08]	0,01	[0,00-0,05]
MgO	0,01	[0,00-0,05]	0,01	[0,00-0,06]
CaO	52,26	[49,40-57,47]	53,95	[50,99-57,61]
MnO	2,28	[0,04-3,91]	2,47	[0,07-3,88]
FeO	0,44	[0,00-0,96]	0,32	[0,04-0,52]
SrO	0,19	[0,00-0,58]	0,21	[0,04-0,48]
Al₂O₃	0,02	[0,00-0,13]	0,02	[0,00-0,07]
La₂O₃	0,03	[0,00-0,12]	0,05	[0,00-0,11]
Ce₂O₃	0,04	[0,00-0,25]	0,02	[0,00-0,07]
SiO₂	0,08	[0,00-0,56]	0,02	[0,00-0,07]
P₂O₅	44,01	[43,24-45,95]	44,22	[43,19-45,08]
SO₃	0,03	[0,00-0,12]	0,02	[0,00-0,10]
O=F, Cl	1,27	[0,96-1,56]	1,15	[0,80-1,35]
Total	101,57	[99,79-105,85]	103,56	[101,65-104,62]
CaO /MnO	103,00	[12,76-1428,00]	89,15	[13,58-823,00]
LA-ICPMS (ppm)				
	average	range	average	range
	(n = 22)		(n = 13)	
Li7	19	[8-48]	2	[1-4]
Be9	2879	[1-22368]	5	[2-9]
B11	12	[8-15]	12	[11-13]
Sc45	1	[1-3]	1	[1-2]
Ti47	157	[58-304]	117	[70-174]
Fe57	2832	[1608-5966]	1960	[936-3064]
Rb85	29	[0-199]	4	[1-7]
Sr86	3375	[1101-5133]	1836	[918-3002]
Y89	14	[1-33]	78	[40-149]
Zr91	2	[0-7]	1	[1-2]
Nb93	4	[0-19]	1	[0-2]
Sn120	10	[1-24]	1	[0-1]
Cs133	5	[0-22]	0	[0-1]
Ba137	35	[1-587]	4	[2-5]
La139	26	[7-70]	44	[26-65]
Ce140	47	[8-95]	88	[50-139]

Pr141	5	[1-12]	11	[5-21]
Nd146	18	[1-47]	50	[18-113]
Sm147	5	[0-11]	14	[5-38]
Eu151	13	[1-23]	10	[5-19]
Gd157	5	[1-10]	12	[4-38]
Tb159	0	[0-1]	2	[1-4]
Dy163	2	[0-5]	12	[8-19]
Ho165	0	[0-1]	3	[2-4]
Er167	1	[0-2]	7	[4-14]
Tm169	0	[0-0]	1	[0-2]
Yb173	1	[0-2]	6	[3-13]
Lu175	0	[0-0]	1	[0-2]
Hf177	0	[0-0]	0	[0-0]
Ta181	6	[0-31]	0	[0-0]
Pb208	41	[23-92]	61	[46-117]
Th232	8	[1-39]	12	[0-32]
U238	224	[16-545]	131	[6-244]
REE lourdes	8	[0-19]	48*	[8-73]

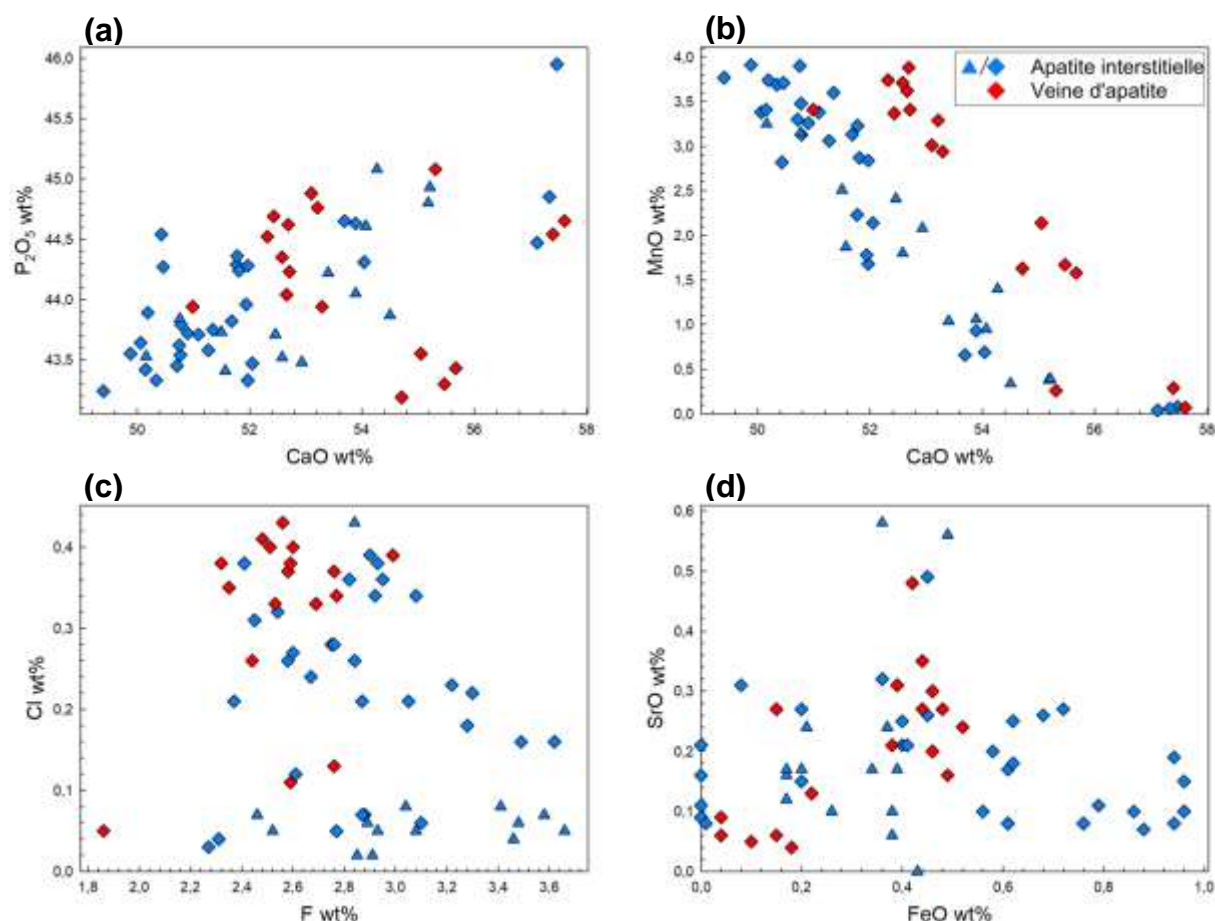


Fig. V-43 : Analyse géochimique (éléments majeurs) des apatites selon leur origine texturale –veine de type I vs veine de type II-. a) CaO vs P_2O_5 , b) CaO vs MnO, c) F vs Cl et d) FeO vs SrO. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Une grande partie des apatites observées dans les pegmatites du Cap de Creus et analysées à la microsonde (éléments majeurs) ont fait également l'objet d'analyses au LA-ICPMS (éléments traces) (Tableau V-6). Cependant, du fait de la qualité médiocre du signal lors des acquisitions (cf. III.4. Observations et critiques [...]), plusieurs données ne sont pas exploitables et / ou incomplètes. Seules les analyses relativement propres des apatites des pegmatites sont présentées. Ces différentes analyses ont permis d'estimer les

concentrations en éléments traces mais également en terres rares afin de dresser différents « spider diagrams » (spectres des REE et spectres étendus).

Les résultats obtenus montrent que les différences géochimiques significatives sont engendrées par des textures de cristallisation bien distinctes (apatite interstitielle des veines de type I vs veine d'apatite de type II), plutôt qu'au fractionnement magmatique (types de pegmatites) (Fig. V-44). Les apatites formées dans les veines interstitielles aux minéraux majeurs (veines de type I) sont caractérisées par de faibles concentrations en terres rares lourdes (8 ppm de moyenne) et Y (14 ppm de moyenne), et de fortes concentrations en Sr (jusqu'à 5133 ppm). Au contraire, les apatites cristallisées sous forme de veines recoupant l'ensemble des minéraux présents (veines de type II) montrent de plus fortes concentrations en terres lourdes (48 ppm de moyenne) et Y (78 ppm de moyenne), et de plus faibles concentrations en Sr (jusqu'à 3002 ppm). D'autres éléments traces sont également présents (Li, B, Ba, Pb, REE) pour des concentrations n'excédant pas quelques dizaines de ppm (sauf pour l'U, avec des concentrations comprises entre 6 et 545 ppm) (Tableau V-6).

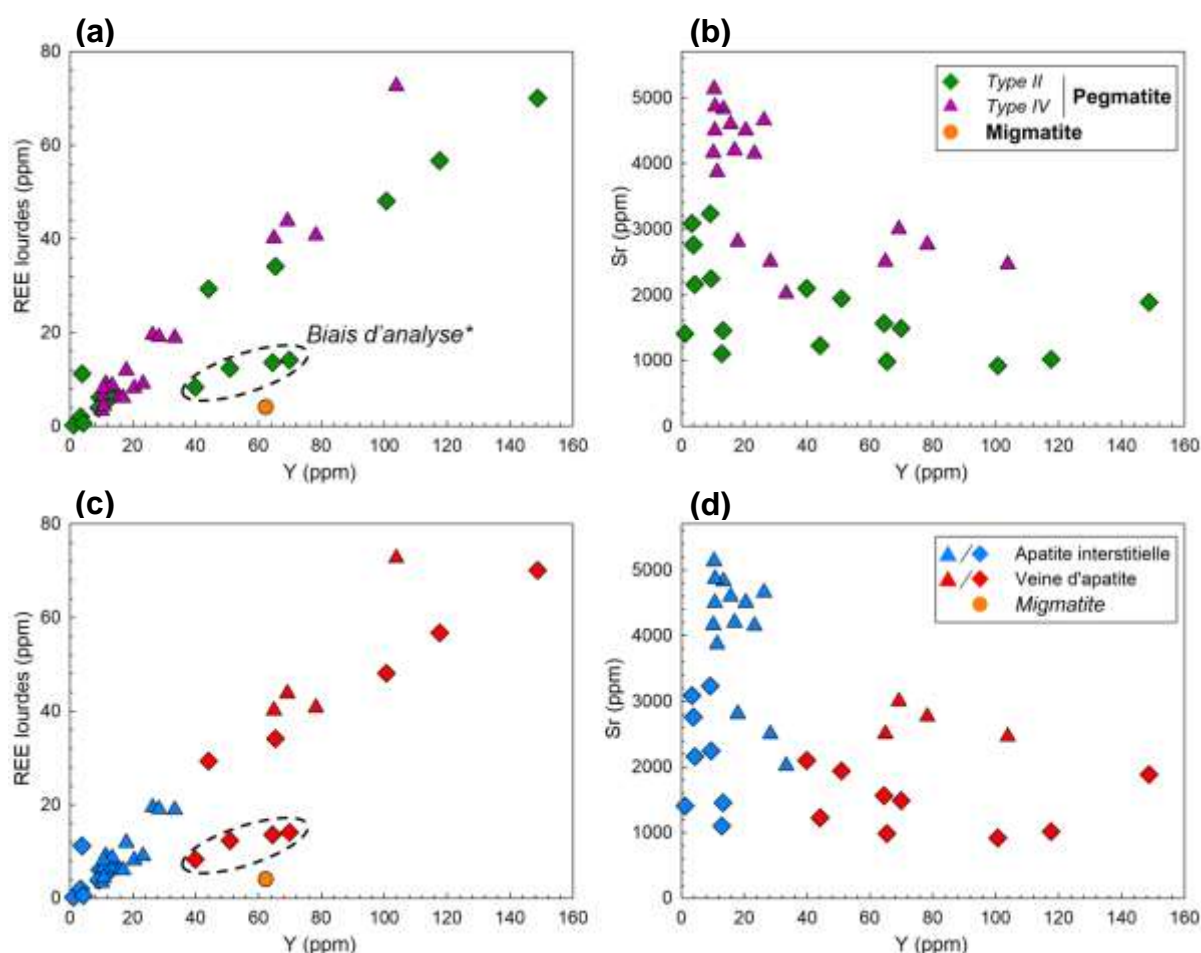


Fig. V-44 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des apatites des pegmatites du Cap de Creus. a et b) Analyses (Y vs Σ REE lourdes et Y vs Sr respectivement) classées selon la lithologie. c et d) Mêmes analyses classées selon l'origine texturale -veine de type I vs veine de type II-. *Totalité des terres rares non analysés (manque Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm).

Les spectres de terres rares et les spectres étendus (« spider diagrams ») des apatites analysées sont relativement similaires au sein d'un même type de pegmatite, mais également d'un type de pegmatite à un autre (Fig. V-45a et b). L'ensemble des apatites sont relativement plus enrichies en terres rares légères qu'en terres rares lourdes. Egalement, elles sont caractérisées par une anomalie positive en Eu, U, Pb, Sr et Eu, ainsi qu'une anomalie négative en Ba, Nb, Ta, Ce, Pr, Nd, Hf et Zr.

En classant ces apatites selon leur origine texturale, des différences notables peuvent être observées (Fig. V-45c et d). Les apatites cristallisant en veines interstitielles (veines de type I) sont relativement plus appauvries en terres rares que les apatites cristallisant en veines tardives sur l'ensemble des minéraux présents (veines de type II). Egalement, l'enrichissement en terres rares légères est moins prononcé dans les apatites des veines de type II que dans les apatites des veines de type I. Enfin, les anomalies négatives en Ce, Pr et Nd des apatites des veines de type II sont relativement moins prononcées que dans les apatites des veines de type I.

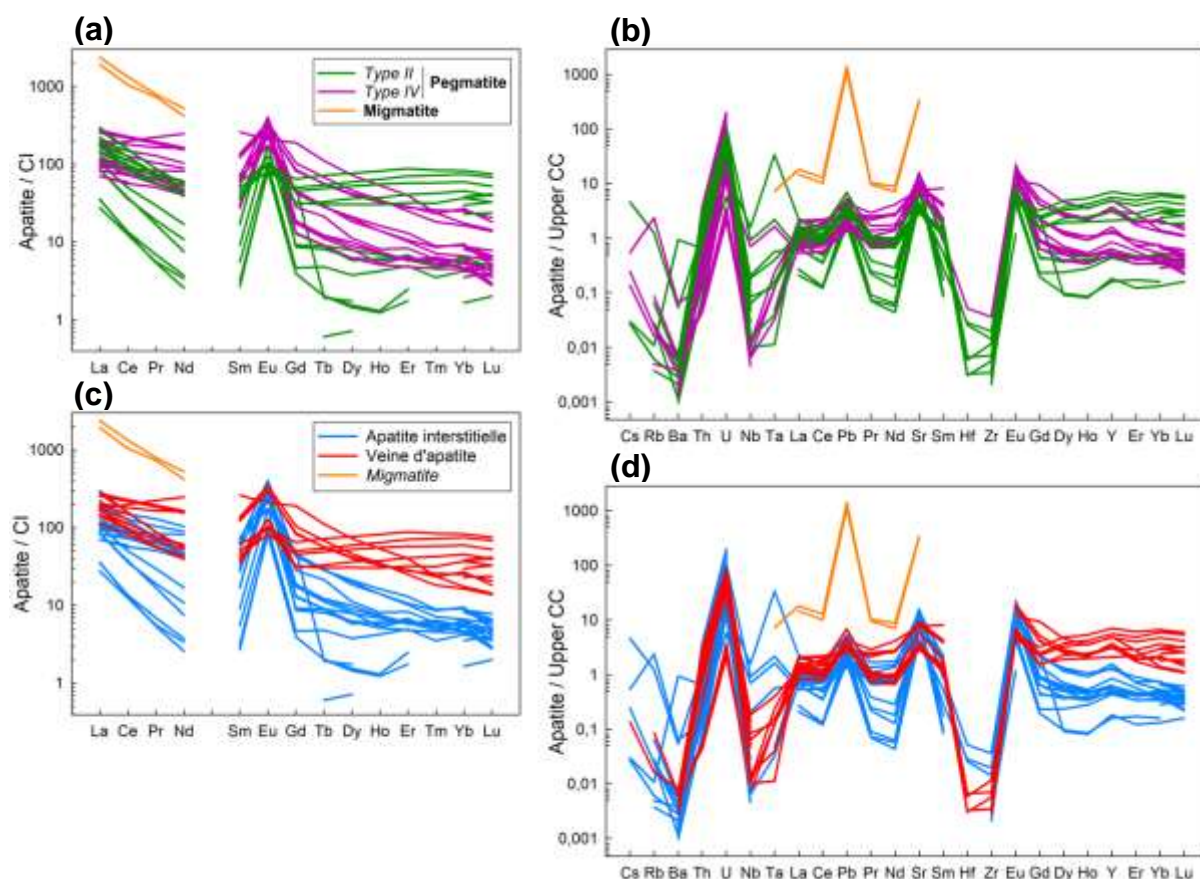


Fig. V-45 : Spider diagrams des apatites (des pegmatites) analysées au LA-ICPMS. a et b) Spider diagram des REE et spider diagram étendu classés selon la lithologie. c et d) Spider diagram des REE et spider diagram étendu classés selon l'origine texturale -veine de type I vs veine de type II-. Normalisation aux chondrites (CI) d'après McDonough and Sun, (1995), et à la croûte supérieure (CC) d'après Rudnick and Gao, (2003).

4. Effets des processus secondaires : exemple des CGM

Les principaux oxydes de Nb-Ta observés dans les pegmatites du CdC sont les minéraux du groupe de la colombite (CGM) (Fig. V-46). Les analyses en éléments majeurs ont montré que l'ensemble des pegmatites sont caractérisées par de la ferrocolombite, alors que seules les pegmatites les plus évoluées (type III et IV) présentent de la ferrotantalite (cf. V.2.5. Groupe de la Colombite (CGM)).

Ces minéraux, dont la taille est rarement supérieure au millimètre, présentent différentes textures de cristallisation liées à 2 générations de cristallisation : i) ils peuvent être en intercroissance ou inclus dans des minéraux primaires avec uniquement des textures de cristallisation magmatique primaire (1^{ère} génération de cristallisation) telles que les zonations progressives (Fig. V-46a), ou ii) ils peuvent être associées aux veines interstitielles de type I et présenter des textures de remplacement secondaires (« patchy zoning pattern ») (2^{ème} génération de cristallisation) (Fig. V-46b). Enfin, les CGM montrent dans les pegmatites les plus évoluées / minéralisées (type III et IV) un dernier événement de déformation fragile caractérisé par de la fracturation (Fig. V-47).

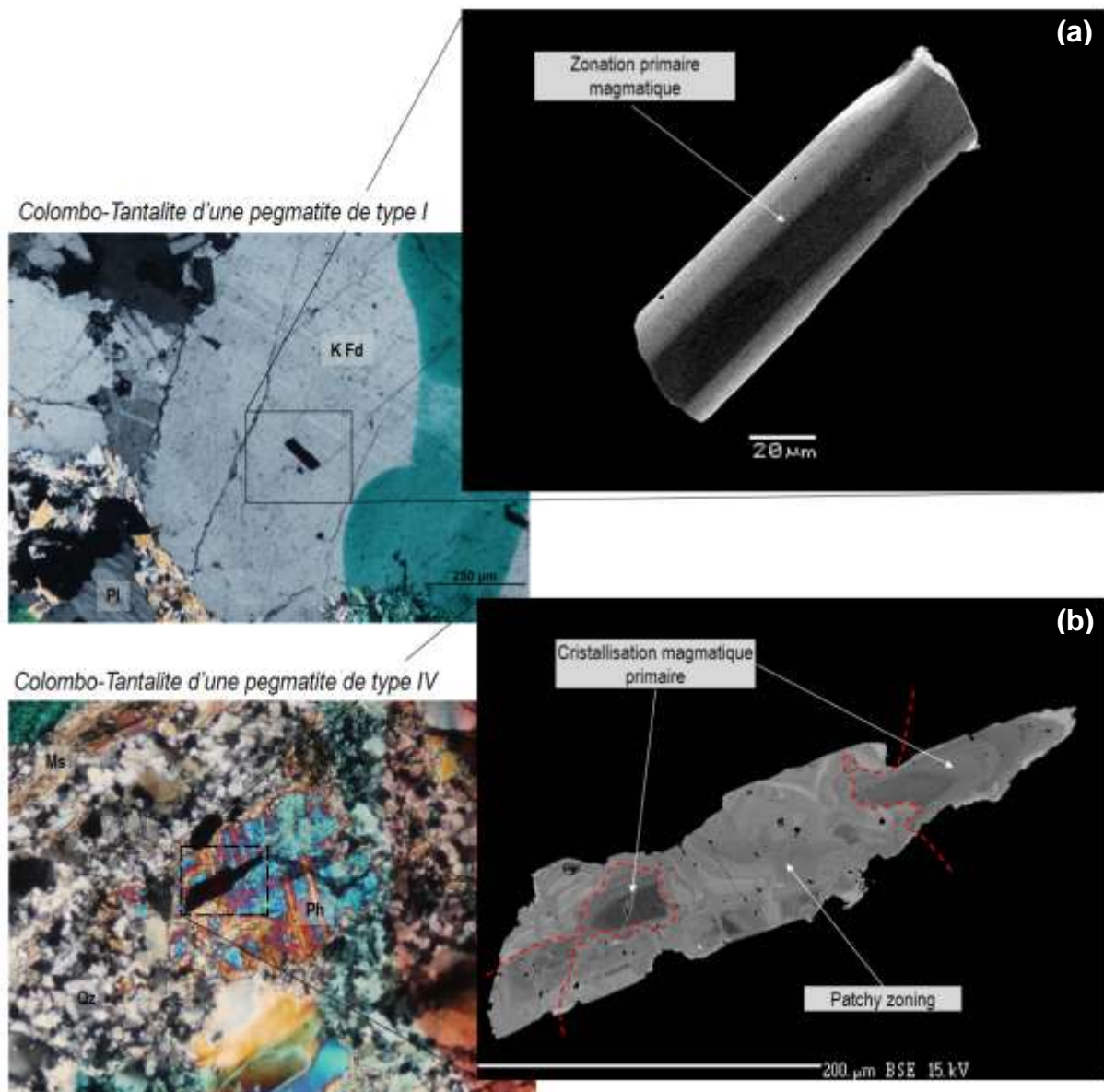


Fig. V-46 : Observations en microscopie optique et électronique (MEB) d'oxydes de Nb-Ta. a) Colombo-tantalite inclus dans un minéral magmatique primaire (K Fd = feldspath potassique) et montrant une zonation typique d'une cristallisation magmatique primaire. b) Colombo-tantalite dans une veine de quartz-muscovite et montrant des textures de remplacements (« patchy zoning pattern »). Ms = muscovite ; Qz = quartz ; Ph = phosphate.

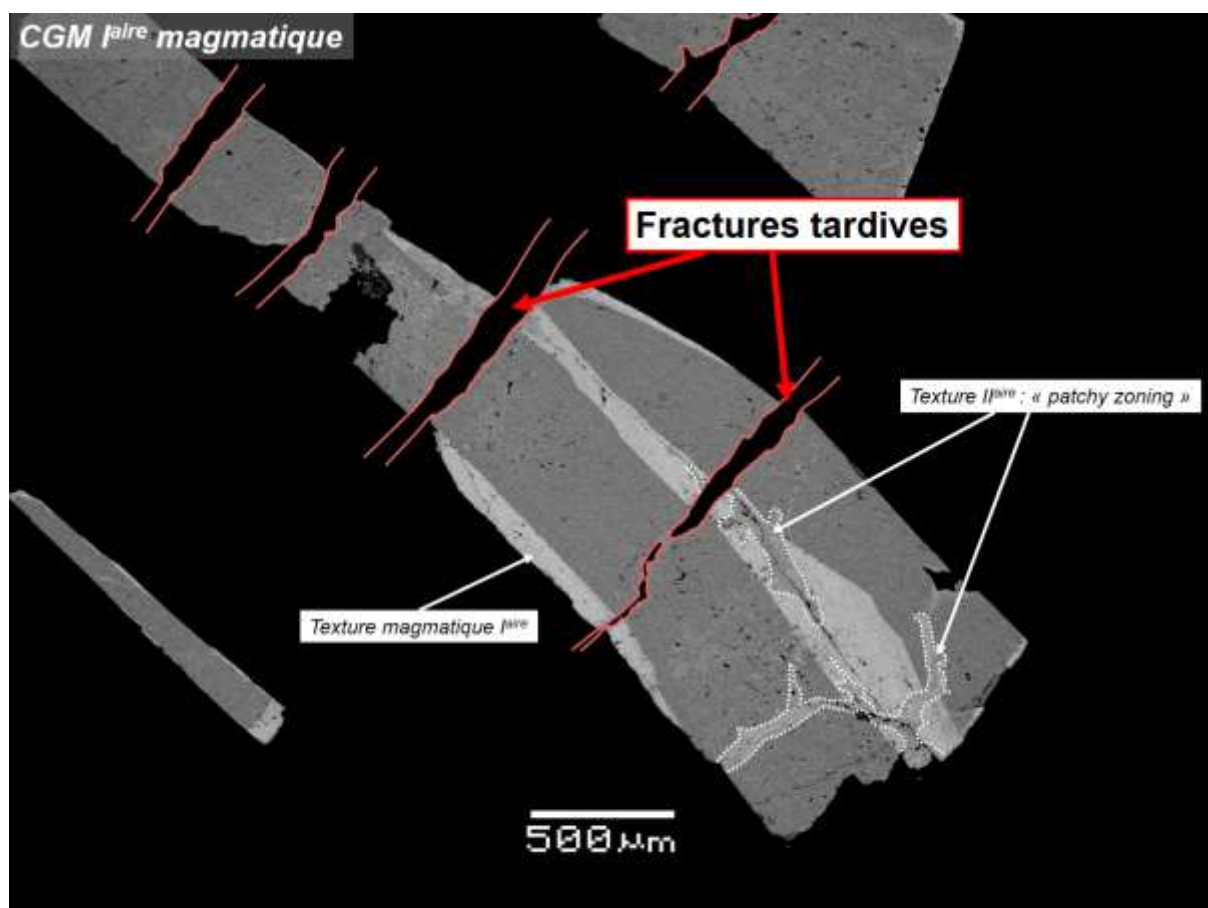


Fig. V-47 : Image MEB d'une colombo-tantalite issue d'une pegmatite de type III et caractérisée par un dernier événement de déformation fragile.

Afin d'observer et de caractériser les différentes variations chimiques liées aux différentes générations de cristallisation, les analyses en éléments majeurs des CGM ont été distinguées entre les générations magmatiques primaires et les générations secondaires (Fig. V-48). Elles révèlent une augmentation typique de $Ta / (Ta + Nb)$ au cours du stade de minéralisation primaire magmatique (Fig. V-48a et 49). Ces CGM primaires sont caractérisées par des teneurs élevées en Sn et sont souvent associées à la cassitérite. Les CGM secondaires, ou montrant des textures secondaires sont systématiquement enrichies en Nb vis-à-vis du Ta et appauvries en Sn. Également des CGM primaires aux CGM secondaires, le Fe montre différentes variations : un enrichissement dans les pegmatites les moins évoluées et un appauvrissement au sein des pegmatites les plus évoluées. Les pegmatites enrichies en Sc (type I) sont caractérisées par des CGM secondaires, et les variations en Ti ne dépendent ni de l'origine des CGM, ni du degré de fractionnement (type) des pegmatites.

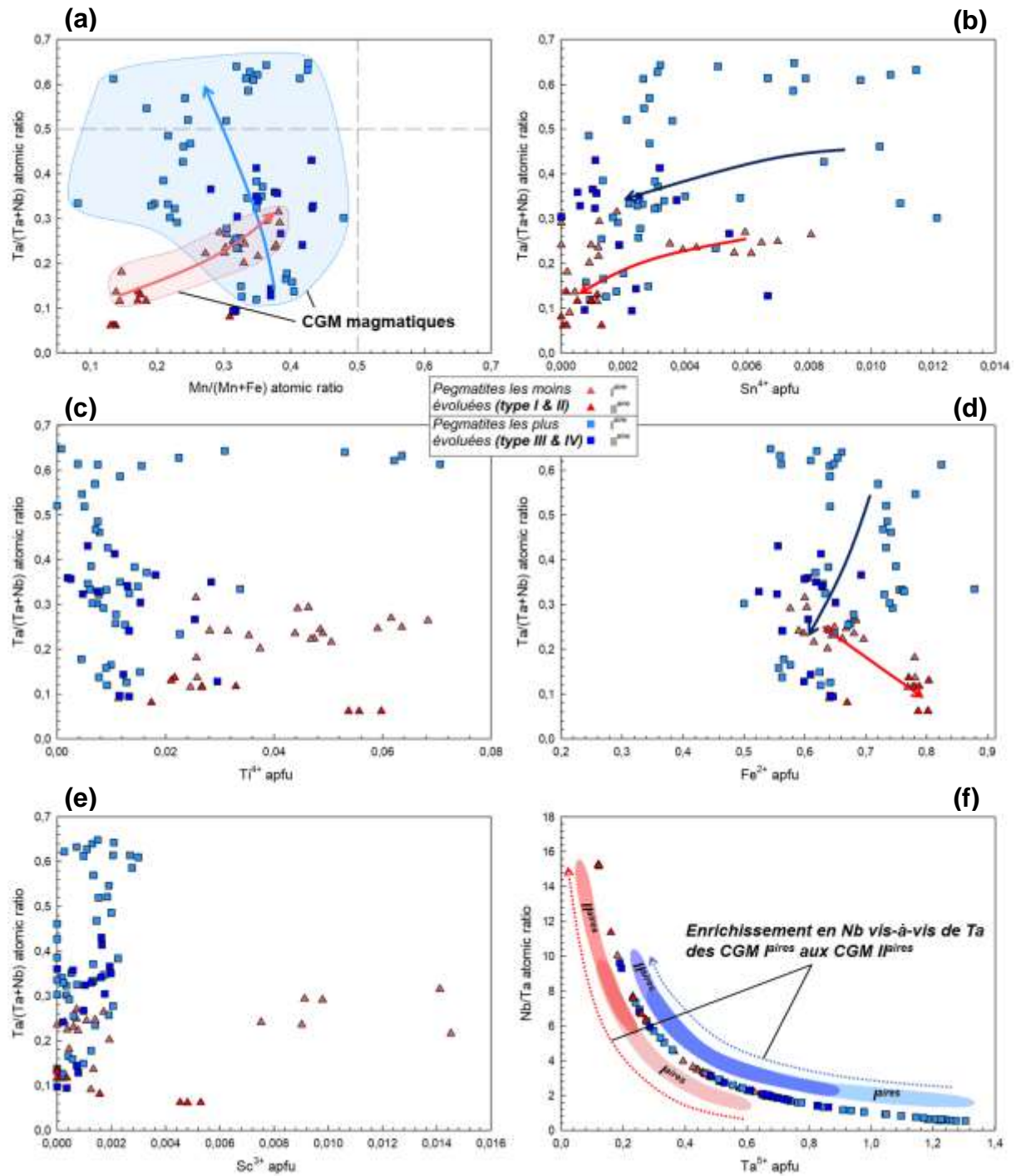


Fig. V-48 : Analyse géochimiques (éléments majeurs) des colombo-tantalites selon leur origine texturale -primaire vs secondaire-. De a) à e) Diagramme Ta / (Ta + Nb) versus, Mn / (Mn + Fe), Sn^{4+} , Ti^{4+} , Fe^{2+} et Sc^{3+} respectivement. f) Nb / Ta vs Ta^{5+} . Toutes les concentrations sont données en apfu (atom per formula unit).

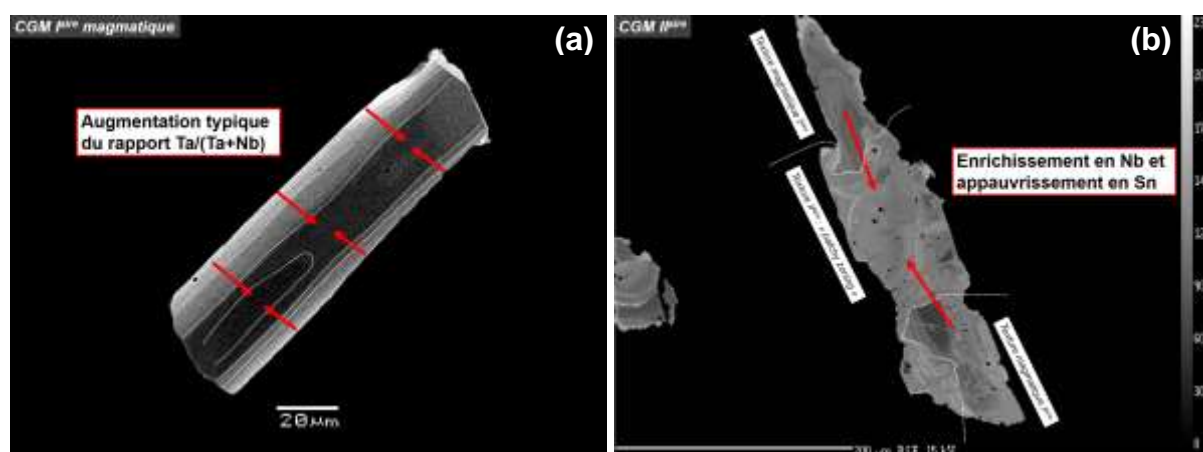


Fig. V-49 : a) Cristallisation primaire magmatique d'une colombo-tantalite. b) Colombo-tantalite ayant subi un événement hydrothermal / métamorphique secondaire (« patchy zoning pattern »).

VI. Chapitre VI : Pétrogéochimie des roches encaissantes : Minéralogie, accessoires, chimie en majeurs et traces

Partie 1. Introduction

Au Cap de Creus, une des caractéristiques quasi unique au monde est la surabondance en phosphore engendrant des paragenèses exceptionnelles en phosphates au sein des pegmatites. Afin de comprendre et d'expliquer cette particularité, une des hypothèses formulée au début de ma thèse était la présence hypothétique d'une source de phosphore au sein des roches encaissantes du CdC. C'est pourquoi je me suis intéressé à l'analyse géochimique de ces roches afin de détecter d'éventuels enrichissements singuliers.

Les roches encaissantes du CdC (Fig. VI-1) ont fait l'objet d'études structurales et microstructurales (cf. Chapitre IV), pétrologiques (microscopie optique, microscopie électronique et cathodoluminescence), et géochimiques avec l'analyse en éléments majeurs (microsonde) et traces (LA-ICPMS) des minéraux les plus abondants (micas, grenat et tourmaline). Un des résultats récurrents fut que la totalité des roches encaissantes, comme les pegmatites, étaient affectées par une cristallisation abondante d'apatite.

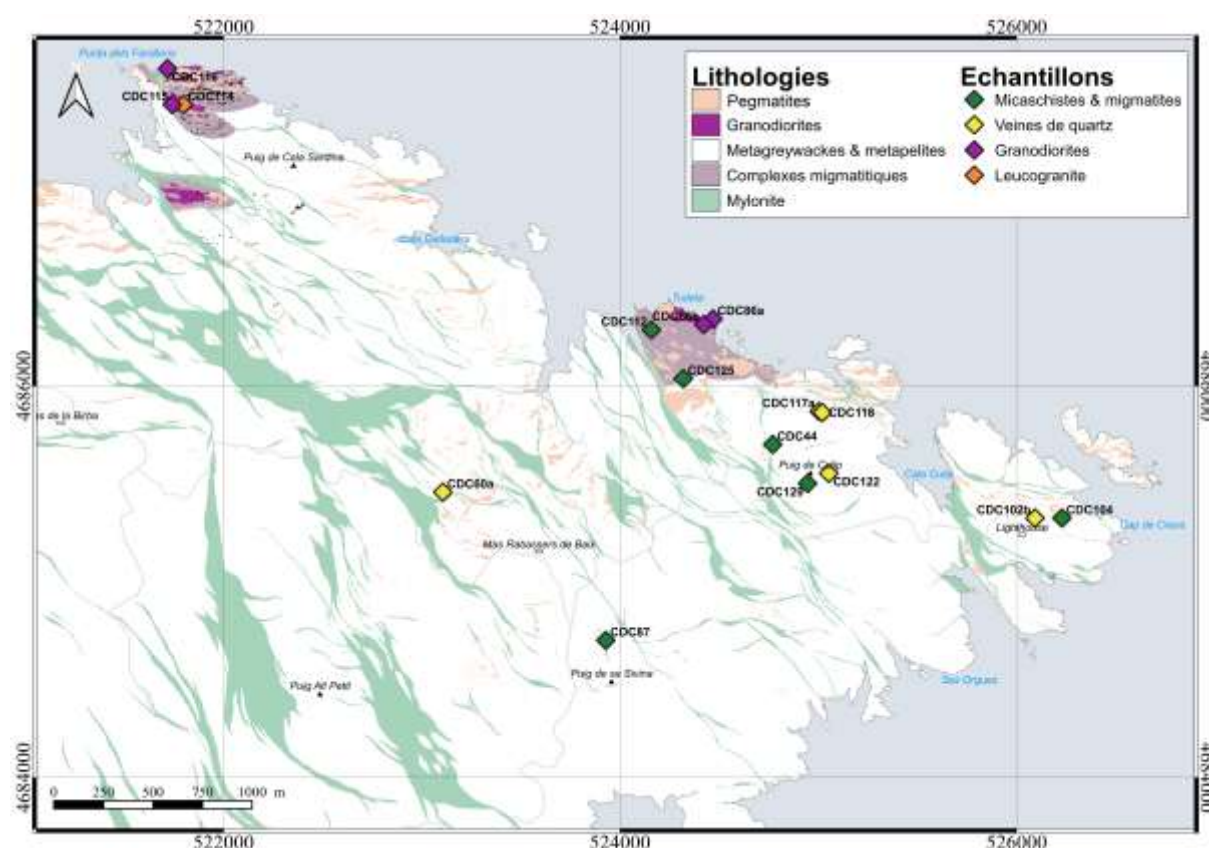


Fig. VI-1 : Carte de localisation des roches encaissantes échantillonnées et étudiées (analyses Roche Totale, microsonde et LA-ICPMS) au cours de cette thèse.

Partie 2. Pétrologie

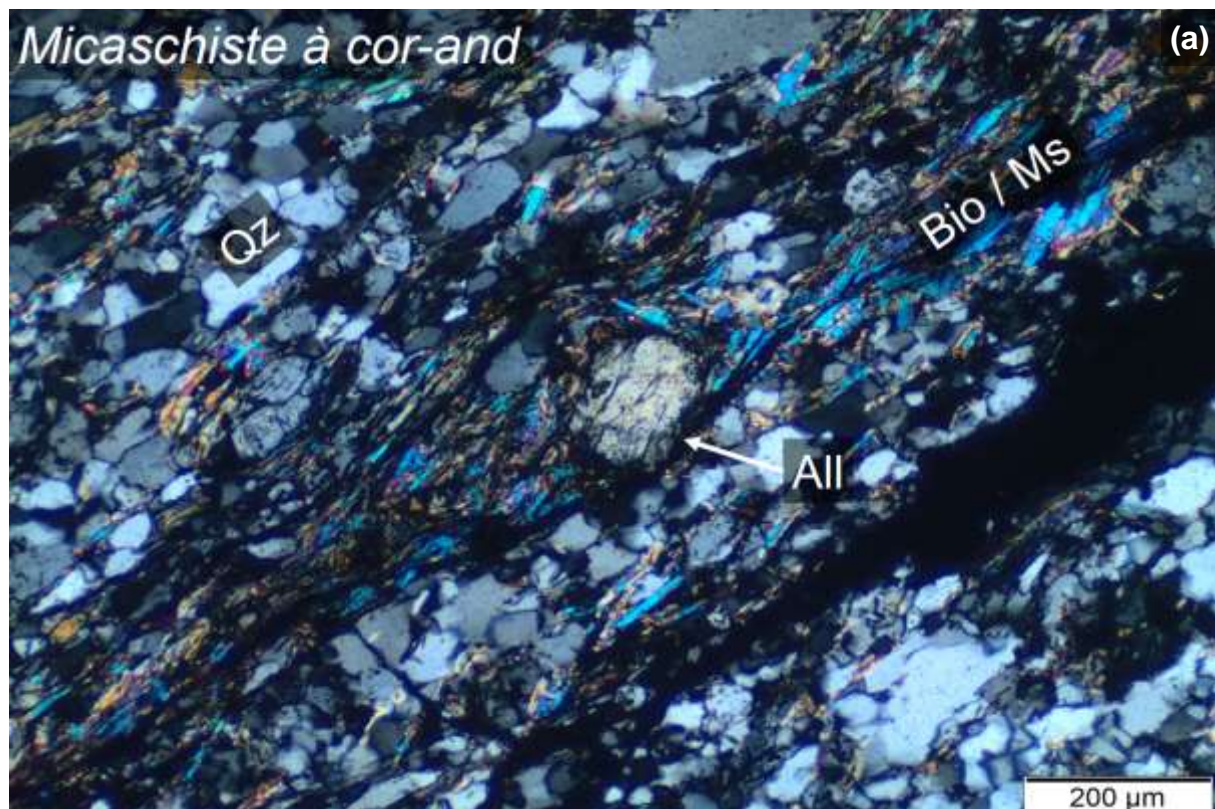
1. Micaschistes et migmatites

La majeure partie du Cap de Creus est caractérisée par une série méta-sédimentaire affectée par un métamorphisme de MP/ HT (Druguet, 2001). Cette série alterne avec des bancs riches en quartz (métagreywacke) et des bancs riches en biotite et muscovite (méta-pélite). Egalement, dans les zones de forte intensité de déformation et de haut grade métamorphique (zones à sill-ms et sill-K fd), ces micaschistes subissent une fusion partielle et des zones migmatitiques apparaissent. Les zones de collectes au sein de ces migmatites (leucosomes) sont caractérisées par une minéralogie à quartz-feldspaths-micas, et sont fréquemment riches en cordiérite (Fig. VI-2a). De plus, il est fréquent de retrouver de la tourmaline, aussi bien dans les migmatites (Fig. VI-2b) que dans les micaschistes très éloignés des pegmatites, et n'ayant pas subi de fusion partielle (Fig. VI-2c).



Fig. VI-2 : a et b) Migmatite de la zone de Tudela riche en cordiérite, et présentant de la tourmaline. c) Photographie en microscopie optique (LPNA) d'un micaschiste à cordiérite-andalousite, ouest du Puig Palau (sud de la zone).

Enfin, l'observation en microscopie optique et électronique (MEB) de ces roches a mis en évidence la présence de minéraux accessoires (abondance < 1%, taille max < quelques 100^{aines} de μm) tels que des oxydes (ilménite, hématite, rutile), des zircons, ou encore des minéraux riches en terres rares (allanite, monazite, xénotime) régulièrement en combinaison avec l'apatite (Fig. VI-3). Cette combinaison formant un chapelet de monazite au contact des apatites a été décrite par plusieurs auteurs (Wolf and London, 1995; Yakymchuk, 2017). Ils ont montré qu'au cours de l'anatexie de roches peralumineuses, l'apatite fond de manière incongruente en formant un chapelet de monazites micrométriques à sa surface. Cependant, cela pose plusieurs questions, notamment, pourquoi observe-t-on cette combinaison également au sein des micaschistes n'ayant pas subis de fusion partielle ? Egalement, décrite par la suite, cette combinaison de minéraux se retrouve dans les diorites et granodiorites des zones d'anatexie. Se forme-t-elle au cours de la cristallisation des magmas ? À partir de fluides extérieurs ? Ces questions seront traitées par la suite, dans la partie VII. Synthèse.



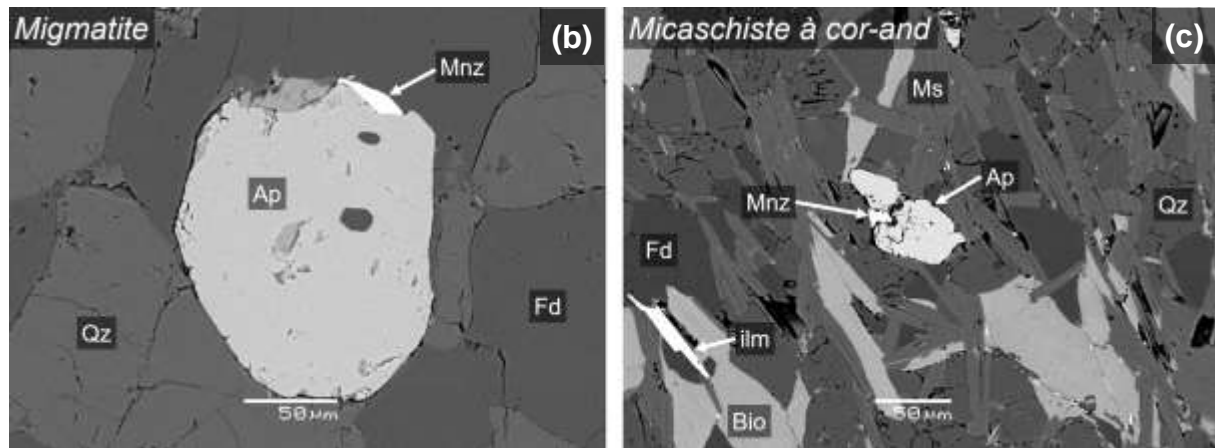


Fig. VI-3 : Observations optique (LPA) et électronique (MEB) des minéraux accessoires des micaschistes (migmatitiques et non migmatitiques) du Cap de Creus. a) Allanite dans un micaschiste à cordiérite-andalousite, ouest du Puig Palau (sud de la zone). a) Apatite + monazite dans une migmatite de la zone de Tudela. b) Apatite + monazite et ilménite dans un micaschiste à cordiérite-andalousite, ouest du Puig Palau (sud de la zone).

Dans cette série méta-sédimentaire, il est très fréquent d'observer des veines de quartz (Fig. VI-4). Ces veines, parfois syn-foliaires, parfois sécantes sur la foliation principale, n'ont quasiment jamais été étudiées. Dans les zones de haut grade métamorphique (zones à sil-ms, sil-fd K et migmatites) ces veines sont caractérisées par la présence de sillimanite, biotite, tourmaline et muscovite, tandis que dans les zones de faible grade métamorphique (zones à cor-and), il ne reste plus que de la tourmaline et de la muscovite.



Fig. VI-4 : Veine à quartz-tourmaline-muscovite-biotite-sillimanite dans des micaschistes à sillimanite-muscovite (haut grade métamorphique), nord du Puig de Culip (nord de la zone).

2. Diorites / Granodiorites

Au nord de la zone d'étude (zone de Tudela et de la Punta dels Farallons), le Cap de Creus est caractérisé par la présence d'intrusions magmatiques de nature relativement différentes (Fig. VI-5). Le plus gros volume de ces roches est composé de diorites -plagioclases, amphibole, pyroxène et micas- et granodiorites -quartz, feldspaths, amphibole, pyroxène et micas- plus ou moins enrichies en grenat (Fig. 6a). Ces roches, en intrusion dans les micaschistes sont elles-mêmes intrudées par plusieurs filons pegmatitiques (Fig. VI-6b) et peuvent présenter des textures de mélange, ou de démixtion de magmas relativement proches chimiquement. Les diorites et granodiorites du CdC sont également caractérisées par les mêmes minéraux accessoires présents au sein des micaschistes -allanite, monazite, xénotime, ilménite, hématite, rutile, zircon-, avec cependant des abondances relativement plus élevées. De plus, tout comme dans les micaschistes, les minéraux riches en terres rares (allanite et monazite) sont souvent observés en combinaison avec les minéraux d'apatite (Fig. VI-7).

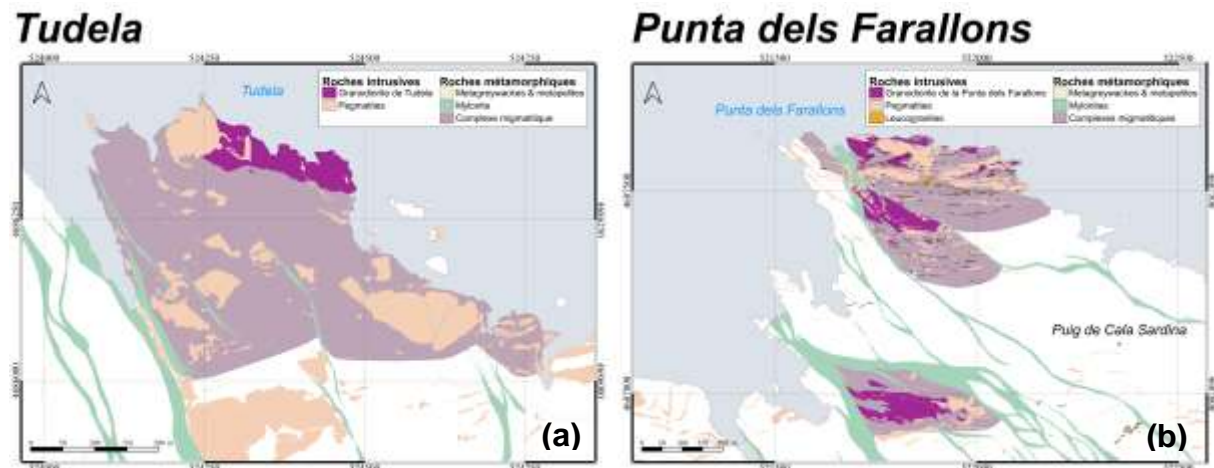


Fig. VI-5 : Cartes de localisation des zones migmatitiques et des diorites / granodiorites associées. a) Zone de Tudela, nord de la zone d'étude, et b) zone de la Punta dels Farallons, nord-ouest de la zone d'étude.

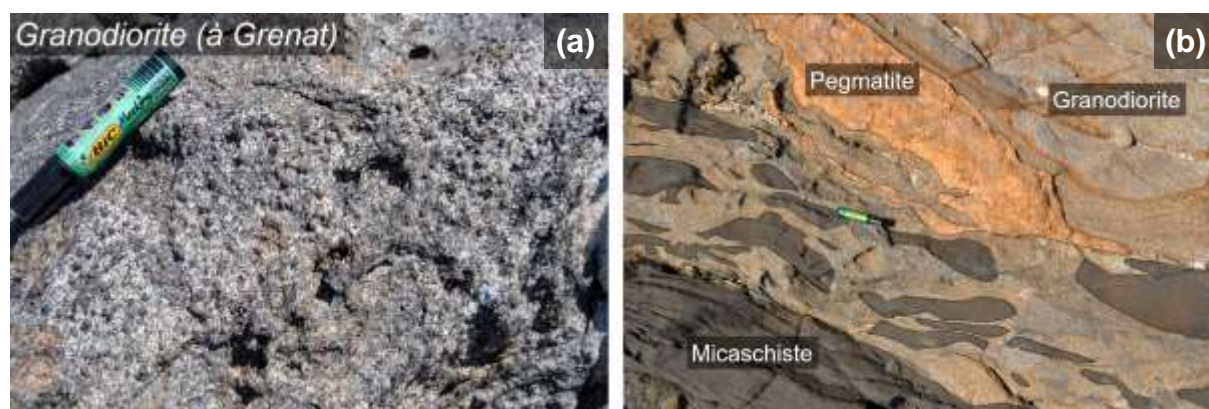


Fig. VI-6 : a) Granodiorite riche en grenat de la zone de la Punta dels Farallons. Localisation exacte de l'échantillon sur la Fig. VI-1. b) Intrusion granodioritique (elle-même intrudée par un filon de pegmatite) dans les micaschistes migmatitiques de la zone de la Punta dels Farallons.

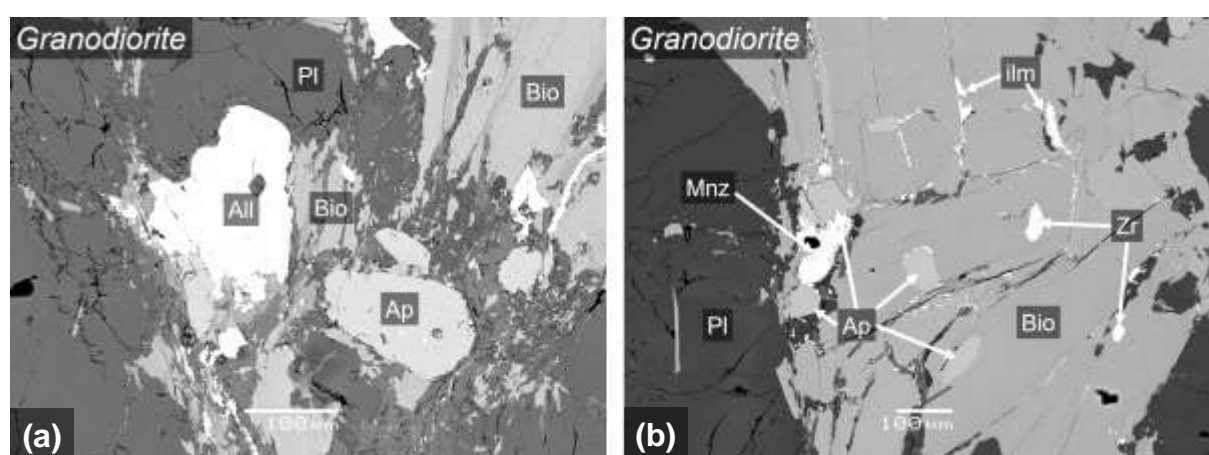


Fig. VI-7 : Observations en microscopie électronique (MEB) des granodiorites du Cap de Creus. a) Cristallisation secondaire (interstitielle au minéraux majeurs constituants) d'apatite + allanite dans une zone riche en micas (principalement biotite). b) Cristallisation secondaire d'apatite + monazite dans une zone riche en biotite.

3. Leucogranite

Au sein de la zone migmatitique et des granodiorites de la Punta dels Farallons il est possible également d'observer des intrusions filoniennes de roches felsiques (Fig. VI-8). Ces dernières présentent une minéralogie leucogranitique à quartz, feldspaths (alcalin et plagioclases) et micas (biotite et muscovite). Du fait de leur faible abondance sur le terrain et de leur localisation (unique zone éloignée du reste), ces filons n'ont pas fait l'objet d'études approfondies au cours de cette thèse (observation en microscopie optique sur un échantillon), et leur nature / origine reste à déterminer.

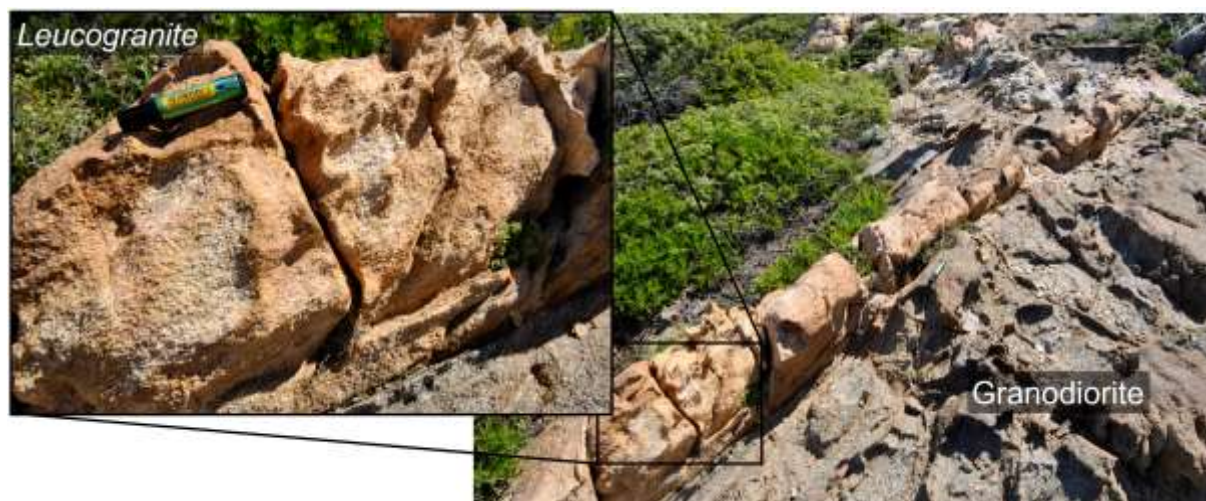


Fig. VI-8 : Filon de leucogranite en intrusion dans la granodiorite de la Punta dels Farallons.

Partie 3. Géochimie

L'ensemble des roches encaissantes -Micaschistes (et veine de quartz), granodiorites et leucogranites- ont fait l'objet d'analyses géochimiques (microsonde et LA-ICPMS). Ces échantillons, au nombre de 16, ont été prélevés aléatoirement sur l'ensemble de la zone d'étude (Fig. VI-1) afin de détecter notamment les possibles hétérogénéités géochimiques au sein des lithologies similaires. Ces travaux géochimiques comportent des analyses en Roche Totale, mais également des analyses in-situ sur différents minéraux (biotite, muscovite et grenat) caractérisant ces roches.

1. Données Roche Totale

Les analyses en Roche Totale, présentées dans le tableau VI-1 et la figure VI-9, de 9 échantillons de roches encaissantes -4 granodiorites, 2 micaschistes, 2 migmatites et 1 leucogranite- montrent des concentrations en SiO_2 comprises entre 50,6 et 56,8 % poids pour les granodiorites, 56,0 et 66,8 % poids pour les micaschistes (non migmatitique et migmatitique) et de l'ordre de 71,8 % poids pour le filon de leucogranite. L'ensemble des roches montrent également de fortes teneurs en Al_2O_3 (de 15,2 % poids pour le leucogranite à 21,3 % poids pour les granodiorites) et en moindre mesure en FeO (de 1,5 % poids pour le leucogranite à 10,9 % poids pour les granodiorites). Enfin les concentrations en CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 et P_2O_5 mesurées dans l'ensemble des roches analysées ne montrent pas d'enrichissement significatif (Tableau VI-1).

Chapitre VI : Pétrogéochimie des roches encaissantes : Minéralogie, accessoires, chimie en majeurs et traces

Tableau VI-1 : Analyses Roche Totale (XRF) des différentes roches encaissantes du Cap de Creus.

Rock	Micaschiste	Micaschiste	Migmatite	Migmatite	Granodiorite (Tudela)	Granodiorite (Tudela)	Granodiorite (Punta dels Farallons)	Granodiorite (Punta dels Farallons)	Leucogranite
Sample name	CDC087	CDC104	CDC044	CDC112	CDC086a	CDC086b	CDC115	CDC116	CDC114
Al ₂ O ₃	19,73	15,52	16,45	16,13	18,76	17,39	20,60	21,30	15,15
SiO ₂	56,04	66,82	63,80	62,74	55,35	56,77	56,19	50,57	71,82
CaO	0,88	2,13	1,42	2,35	6,40	5,36	5,10	4,39	1,76
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	bdl	0,01
Fe ₂ O ₃	8,54	4,29	6,32	6,50	7,83	7,77	6,59	12,14	1,63
FeO(t)	7,68	3,86	5,69	5,85	7,05	6,99	5,93	10,92	1,47
TiO ₂	0,91	0,76	0,78	0,73	1,68	1,86	1,11	0,89	0,19
K ₂ O	4,80	2,16	3,37	3,35	1,28	2,11	2,57	2,74	3,92
MgO	3,70	2,13	2,39	3,23	3,98	3,56	1,68	1,80	0,08
MnO	0,08	0,06	0,08	0,10	0,11	0,11	0,08	0,30	0,02
Na ₂ O	1,83	4,31	3,37	2,92	2,82	2,75	4,05	4,21	3,91
P ₂ O ₅	0,19	0,07	0,17	0,18	0,25	0,34	0,34	0,45	0,04
L.O.I.	2,84	0,91	0,88	0,78	0,76	1,01	0,82	0,33	0,49
Total	99,56	99,17	99,05	99,04	99,24	99,04	99,14	99,12	99,02
Sc	22	16	18	19	26	24	22	54	9
V	141	100	103	107	180	187	47	38	9
Cr	157	109	134	200	146	103	70	46	91
Co	16	5	13	16	33	16	10	11	1
Ni	52	18	45	65	34	21	40	23	32
Cu	28	8	17	18	25	27	26	30	22
Zn	66	88	127	89	131	92	56	97	27
Rb	173	89	128	124	48	79	106	178	90
Sr	110	239	174	198	310	266	373	257	151
Y	37	25	28	26	18	18	45	289	22
Zr	170	266	175	156	129	169	889	848	216
Nb	12	10	11	12	10	11	13	12	6
Mo	3	4	4	9	8	4	5	3	11
Cs	16	5	7	5	3	3	3	12	2
Ba	718	426	1081	487	538	764	1855	846	1579
La	35	34	31	34	26	18	20	32	71
Ce	68	68	63	67	51	38	44	66	149
Pr	8	8	8	8	6	5	6	8	17
Nd	31	30	30	29	24	18	27	34	63
Sm	6	6	6	6	5	4	6	10	12
Eu	1	1	1	1	2	1	2	2	1
Gd	7	5	6	5	4	4	7	22	8
Tb	1	1	1	1	1	1	1	5	1
Dy	6	4	6	5	3	3	7	44	5
Ho	1	1	1	1	1	1	2	11	1
Er	4	3	3	3	2	2	6	34	2
Tm	1	0	0	0	0	0	1	5	0
Yb	4	2	3	3	2	2	6	33	3
Lu	1	0	0	0	0	0	1	5	0
Hf	5	7	5	5	3	5	20	19	6
Ta	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Pb	16	19	32	20	13	9	12	14	29
Th	14	11	11	13	9	4	3	8	32
U	3	3	3	3	1	1	2	3	4
Be	8	1	2	2	2	2	2	6	2
Sn	5	3	4	4	3	3	3	9	4

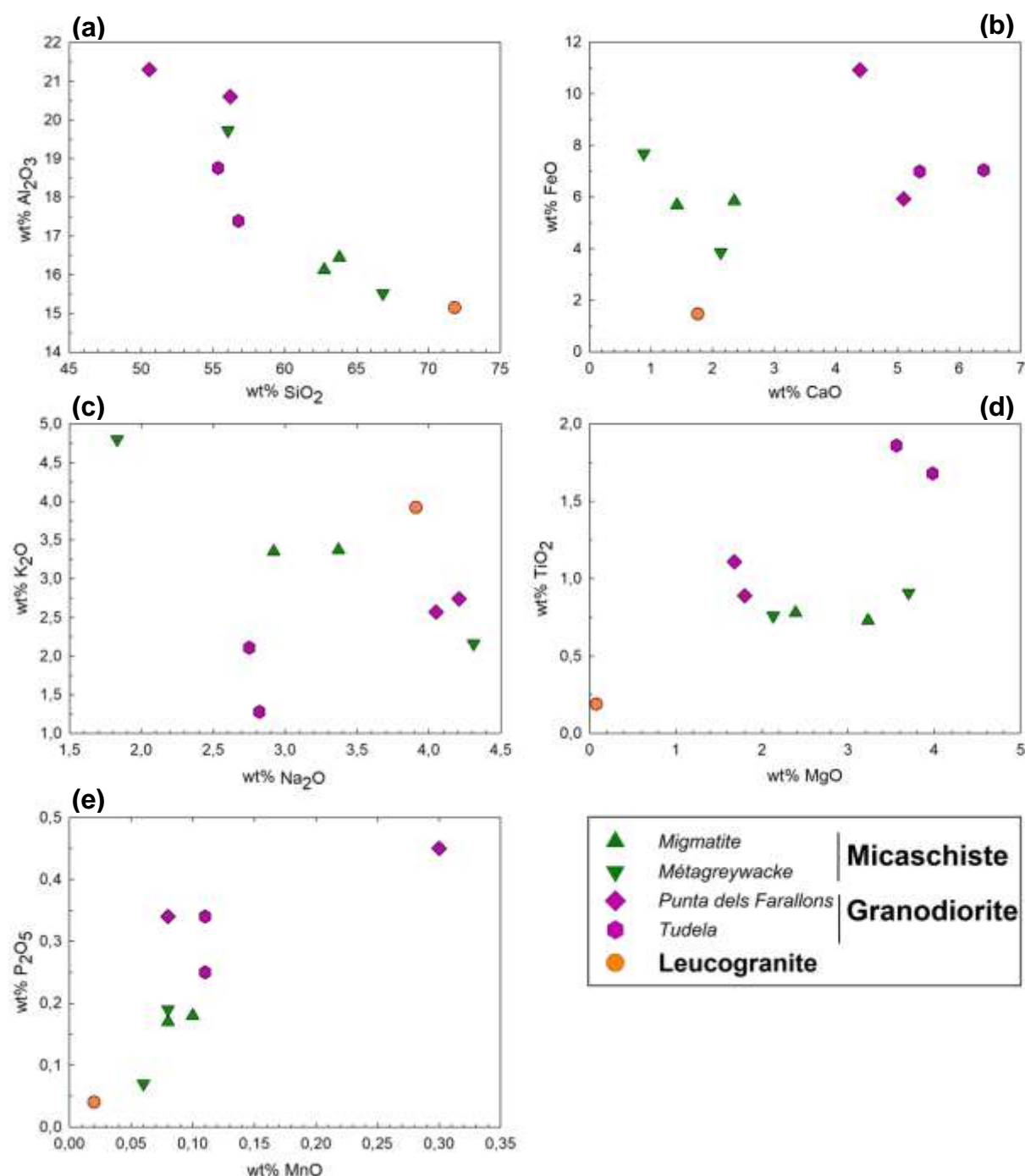


Fig. VI-9 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (Roche Totale) mesurés dans les roches encaissantes du Cap de Creus. a) SiO₂ vs Al₂O₃, b) CaO vs FeO, c) Na₂O vs K₂O, d) MgO vs TiO₂ et e) MnO vs P₂O₅. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Ces analyses Roche Totale ont permis également de mesurer les concentrations des différents éléments traces. Quel que soit la roche analysée, la quasi-totalité des éléments traces montrent de très faibles concentrations, ne dépassant que très rarement les quelques centaines de ppm (tableau VI-1). Seuls le Ba et le Zr montrent des concentrations

relativement élevées, jusqu'à 1855 ppm de Ba et 889 ppm de Zr pour les granodiorites de la Punta dels Farallons.

Dans un spider diagram des REE normalisées à la croûte continentale supérieure (Rudnick and Gao, 2003), la majorité des roches montrent un enrichissement, plus ou moins prononcé, en terres rares lourdes par rapport aux terres rares légères (Fig. VI-10a). Cet enrichissement, très peu marqué dans les micaschistes (non migmatitiques et migmatitiques), est le plus accentué dans la granodiorite de la Punta dels Farallons, avec une augmentation d'un ordre de grandeur des concentrations. Seul le leucogranite montre un léger appauvrissement en terres lourdes par rapport aux terres rares légères. Egalement, les granodiorites du CdC sont caractérisées par une anomalie positive en Eu alors que le leucogranite montre une anomalie négative en ce même élément. Et une anomalie positive en Gd est présente dans le leucogranite, et en moindre mesure dans les micaschistes.

Dans un spider diagram étendu (Fig. VI-10b), les roches encaissantes du CdC ne montrent que de faibles anomalies positives ou négatives de certains éléments selon la roche étudiée. L'ensemble des roches sont caractérisées par une anomalie positive en Mo, tandis que seules les granodiorites montrent une anomalie positive en Y et Zr, et en moindre mesure en Be, P, Sc, Sn, Ba et Hf. Ces dernières sont également caractérisées par de faibles anomalies négatives en Pb, Th et U. Les plus fortes anomalies négatives sont présentes au sein du leucogranite et sont caractérisées par le P, V, Co et en moindre mesure le Sc et Zn. Les micaschistes quant à eux ne montrent que de très faibles anomalies négatives en Be, P, Co, Cu et Sr.

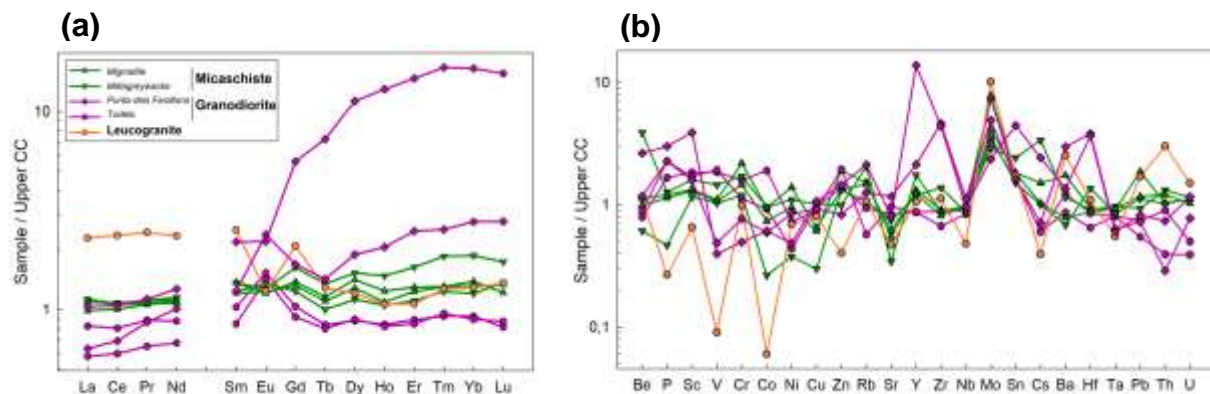


Fig. VI-10 : Spider diagrams des roches encaissantes du Cap de Creus. a) Spider diagram des REE. b) Spider diagram étendu. Normalisation à la croûte supérieure d'après Rudnick & Gao (2003).

2. Analyses in-situ

Dans les roches encaissantes du Cap de Creus, tout comme dans les pegmatites, les micas (biotite et muscovite) sont des minéraux omniprésents. Cependant, selon la lithologie, le mica dominant n'est pas le même. Dans les roches issues de magmas géochimiquement intermédiaires (diorites, granodiorites) ainsi que dans les micaschistes, le mica dominant est la biotite, tandis que la muscovite est dominante dans les filons leucogranitiques et les veines de quartz.

a. Biotite

Les analyses en éléments majeurs des biotites mesurées dans les roches encaissantes, et présentées dans le tableau VI-2, montrent plusieurs caractéristiques selon la lithologie à laquelle on s'intéresse (Fig. VI-11 et 12). Les granodiorites du CdC présentent plusieurs familles géochimiques de biotites. Les biotites de la granodiorite de la Punta dels Farallons sont caractérisées par de faibles concentrations en SiO_2 (34,7 % poids en moyenne) et MgO (6,5 % poids en moyenne), et de fortes concentrations en FeO (23,0 % poids en moyenne). Tandis que les biotites de la granodiorite de Tudela montrent de fortes concentrations en SiO_2 (36,7 % poids en moyenne) et MgO (12,1 % poids en moyenne), et de faibles concentrations en FeO (16,3 % poids en moyenne). Les autres éléments - Al_2O_3 , K_2O et Na_2O - ont des teneurs relativement similaires (17,7 % poids, 8,9 % poids et 0,1 % poids en moyenne, respectivement) d'une granodiorite à une autre (tableau VI-2), et TiO_2 est très légèrement plus concentré dans les biotites de la granodiorite de la Punta dels Farallons (de 0,5 à 3,7 % poids) que dans les biotites de la granodiorite de Tudela (de 0,02 à 2,77 % poids). Enfin, les biotites de la granodiorite de la Punta dels Farallons sont les plus évoluées sur l'ensemble des biotites des roches encaissantes analysées avec un Mg\# ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) compris entre 0,19 et 0,29 (Fig. VI-12a).

La seule biotite analysée dans une veine à quartz-tourmaline-sillimanite-biotite montre des concentrations similaires aux biotites issues des micaschistes, qu'ils soient migmatitiques ou non (Tableau VI-2). Ces concentrations globalement homogènes sont en moyenne de 35,3 % poids de SiO_2 , 17,4 % poids de FeO , 18,4 % poids d' Al_2O_3 , 10,2 % poids de MgO , 9,5 % poids de K_2O et 2,2 % poids de TiO_2 . Malgré la faible concentration mesurée, seul Na_2O montre des variations de concentration et augmente des micaschistes aux migmatites (de 0,07 % poids à 0,16 % poids en moyenne, respectivement).

Tout comme les biotites des micaschistes, les biotites du filon de leucogranite montrent des concentrations homogènes, quel que soit l'élément auquel on s'intéresse (tableau VI-2). Egalement, les biotites issues de ce leucogranite sont les biotites les plus primitives des roches encaissantes analysées, avec une concentration moyenne de 34,2 % poids de SiO_2

et un Mg# compris entre 0,12 et 0,14 (Fig. VI-12a). Enfin, ces biotites sont les plus enrichies en FeO (de 24,9 à 26,8 % poids) et TiO₂ (de 2,8 à 3,4 % poids) sur l'ensemble des biotites analysées.

Tableau VI-2 : Analyses in-situ des éléments majeurs (microsonde) et des éléments traces (LA-ICPMS) des biotites des roches encaissantes du Cap de Creus.

Rock	Micaschiste	Migmatite	Veine de quartz	Granodiorite (Tudela)	Granodiorite (Punta dels Farallons)	Leucogranite
Microprobe (wt %)						
	range (n = 2)	average (n = 5)	range (n = 1)	average (n = 37)	range (n = 31)	average (n = 6)
SiO ₂	[35,58-35,55]	35,23 [34,99-35,63]	35,63	34,65 [33,62-35,91]	36,68 [34,27-37,89]	34,18 [33,89-34,39]
TiO ₂	[2,44-2,80]	2,02 [0,84-2,56]	2,07	2,68 [0,48-3,67]	1,29 [0,02-2,77]	2,98 [2,79-3,40]
Al ₂ O ₃	[18,43-18,20]	18,46 [17,27-18,92]	18,84	17,46 [16,20-18,28]	17,80 [16,60-20,49]	17,34 [16,67-17,86]
FeO	[16,89-17,14]	17,51 [16,45-19,51]	17,42	22,98 [20,02-24,73]	16,32 [14,58-17,72]	25,99 [24,87-26,77]
MnO	[0,29-0,20]	0,26 [0,19-0,36]	0,32	0,17 [0,04-0,27]	0,07 [0,00-0,22]	0,27 [0,22-0,32]
MgO	[10,58-10,22]	10,08 [9,74-10,60]	10,14	6,51 [5,70-8,67]	12,09 [10,77-14,97]	3,92 [3,75-4,10]
CaO	[0,03-0,00]	0,02 [0,00-0,06]	0,00	0,03 [0,00-0,10]	0,03 [0,00-0,13]	0,02 [0,00-0,08]
Na ₂ O	[0,05-0,10]	0,16 [0,11-0,25]	0,25	0,12 [0,03-0,23]	0,14 [0,07-0,24]	0,08 [0,06-0,12]
K ₂ O	[9,26-9,62]	9,48 [9,26-9,76]	9,04	9,19 [8,39-9,60]	8,70 [5,72-9,48]	9,15 [8,92-9,37]
P ₂ O ₅	[0,00-0,00]	0,00 [0,00-0,00]	b.d.1	0,06 [0,00-0,16]	0,01 [0,00-0,05]	0,04 [0,02-0,05]
F	[0,39-0,00]	0,35 [0,00-0,61]	0,54	0,34 [0,00-0,92]	0,24 [0,00-0,62]	0,18 [0,04-0,34]
BaO	[0,16-0,13]	0,12 [0,06-0,17]	0,22	0,48 [0,12-0,74]	0,25 [0,02-0,42]	0,05 [0,00-0,10]
Cr ₂ O ₃	[0,13-0,00]	0,04 [0,00-0,10]	0,00	0,02 [0,00-0,11]	0,03 [0,00-0,16]	0,02 [0,00-0,08]
Total	[94,27-93,98]	93,81 [93,04-94,39]	94,48	94,68 [92,34-95,88]	93,66 [90,85-95,06]	94,20 [93,69-94,75]
Mg#	[0,39-0,37]	0,37 [0,35-0,37]	0,37	0,22 [0,19-0,29]	0,43 [0,38-0,49]	0,13 [0,12-0,14]
LA-ICPMS (ppm)						
	average (n = 9)	range (n = 2)		range (n = 2)	average (n = 8)	
Li7	202 [190-212]	[164-165]	n.a	[169-162]	212 [203-225]	n.a
Be9	b.d.1 [0-0]	[1-b.d.1]	n.a	[b.d.1-b.d.1]	b.d.1 [0-0]	n.a
B11	2 [1-3]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[b.d.1-3]	1 [1-3]	n.a
P31	68 [22-165]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[20-23]	b.d.1 [0-0]	n.a
Sc45	41 [35-46]	[31-38]	n.a	[21-20]	83 [66-90]	n.a
Rb85	530 [495-562]	[508-545]	n.a	[401-398]	741 [724-763]	n.a
Sr86	10 [9-11]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[b.d.1-b.d.1]	b.d.1 [0-0]	n.a
Y89	0 [0-0]	[0-0]	n.a	[0-0]	0 [0-1]	n.a
Zr91	b.d.1 [0-0]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[b.d.1-b.d.1]	b.d.1 [0-0]	n.a
Nb93	39 [29-45]	[35-45]	n.a	[21-20]	40 [25-52]	n.a
Sn120	9 [8-10]	[9-9]	n.a	[2-2]	28 [26-31]	n.a
Cs133	27 [25-29]	[29-27]	n.a	[12-12]	47 [39-56]	n.a
Ba137	1328 [1009-1492]	[1375-1590]	n.a	[3183-3231]	3213 [2629-3602]	n.a
La139	0 [0-0]	[0-0]	n.a	[0-0]	0 [0-0]	n.a
Ce140	0 [0-0]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[b.d.1-0]	0 [0-0]	n.a
Gd157	0 [0-0]	[0-0]	n.a	[0-0]	0 [0-0]	n.a
Yb173	b.d.1 [0-0]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[0-b.d.1]	0 [0-0]	n.a
Lu175	0 [0-0]	[b.d.1-0]	n.a	[b.d.1-0]	0 [0-0]	n.a
Hf177	0 [0-0]	[0-0]	n.a	[b.d.1-0]	0 [0-0]	n.a
Ta181	3 [2-4]	[3-3]	n.a	[1-1]	2 [1-2]	n.a
Pb208	5 [4-6]	[6-7]	n.a	[3-2]	3 [2-4]	n.a
Th232	0 [0-0]	[b.d.1-b.d.1]	n.a	[0-0]	0 [0-0]	n.a
U238	0 [0-0]	[0-b.d.1]	n.a	[0-0]	0 [0-0]	n.a
Rb/Cs	20 [19-21]	[18-20]	n.a	[32-34]	16 [14-19]	n.a
Li/Cs	8 [7-8]	[6-6]	n.a	[14-14]	5 [4-5]	n.a

(a)

(b)
206

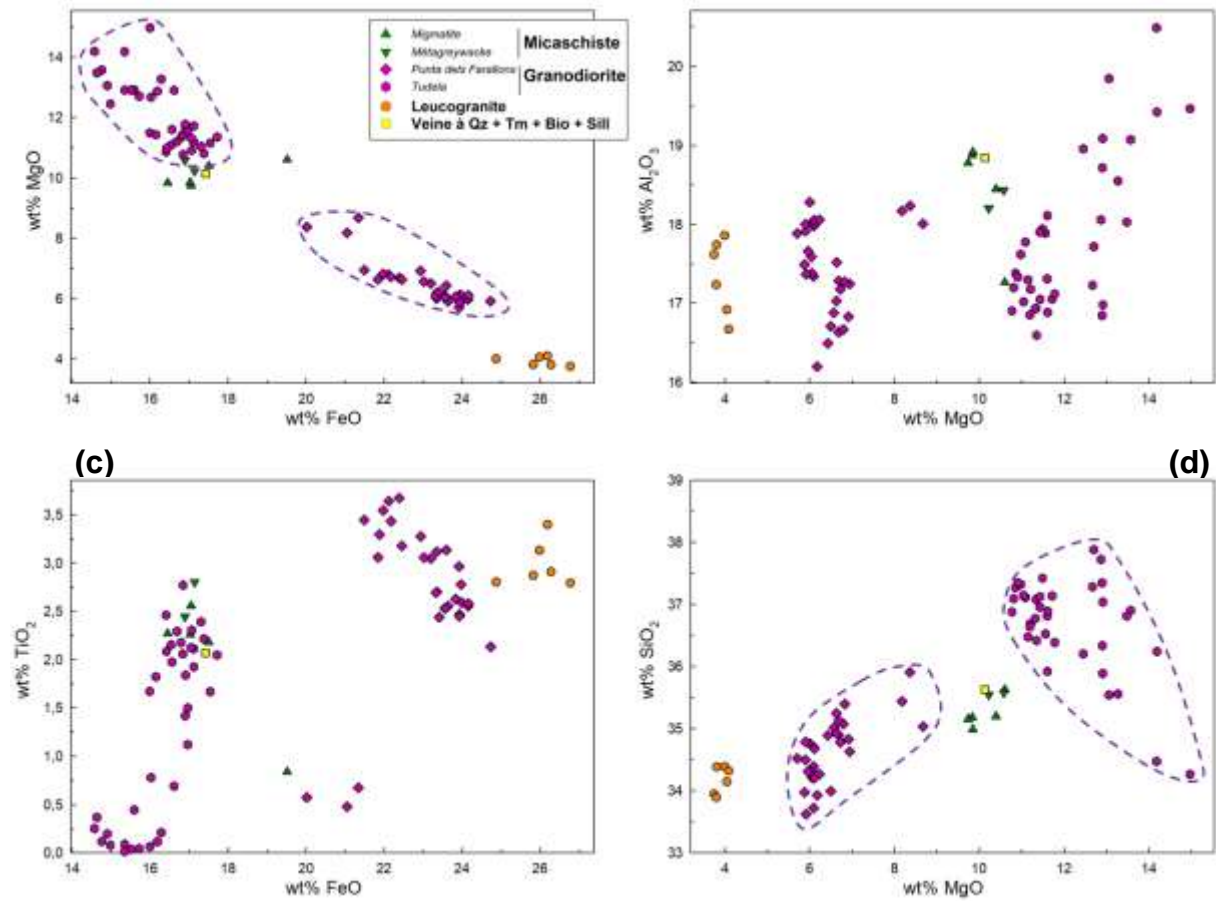


Fig. VI-11 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les biotites des roches encaissantes du Cap de Creus. a) FeO vs MgO, b) MgO vs Al₂O₃, c) FeO vs TiO₂ et d) MgO vs SiO₂. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

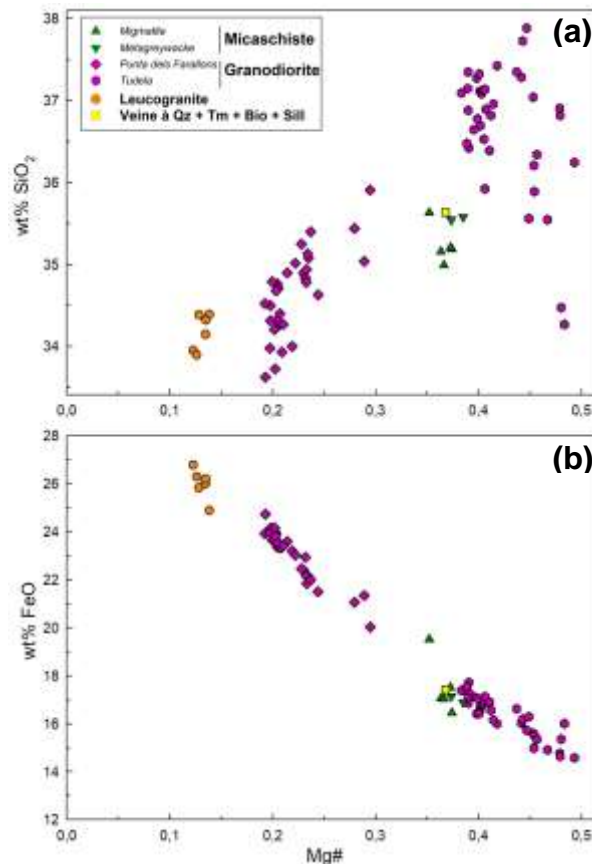


Fig. VI-12 : Mg # ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) des biotites des roches encaissantes du Cap de Creus versus a) SiO_2 et b) FeO . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Les biotites des granodiorites (Punta dels Farallons et Tudela) ainsi que celles des micaschistes ont fait l'objet d'analyses en éléments traces (LA-ICPMS). Egalement, par soucis de comparaison, les quelques points d'analyses réalisés sur des biotites de 2 pegmatites de type I ont été insérés dans ces différents diagrammes géochimiques.

Les résultats montrent dans un premier temps que la chimie en éléments traces des biotites des roches encaissantes est relativement différente de celle des biotites des pegmatites (Tableau VI-2). Les biotites des roches encaissantes sont clairement appauvries en Rb, Ta, Nb, B, et en moindre mesure en Cs et Sn, tandis qu'elles montrent un fort enrichissement en Ba et des concentrations en Li relativement similaires aux pegmatites de type I (Fig. VI-13).

Au contraire, d'une roche encaissante à une autre, les concentrations en éléments traces des biotites analysées sont globalement homogènes. Seul le Ba est clairement plus concentré dans les biotites des granodiorites (3212 ppm de moyenne) que dans les biotites des micaschistes (1362 ppm de moyenne) (Fig. VI-13d). On peut noter également que les biotites de la granodiorite de Tudela montrent un caractère relativement plus primitif que les autres biotites analysées avec un rapport Rb / Cs autour de 33 (entre 14 et 21 pour les biotites des micaschistes et de la granodiorite de la Punta dels Farallons) et de faibles concentrations en Cs (autour de 12 ppm) (Fig. VI-13e).

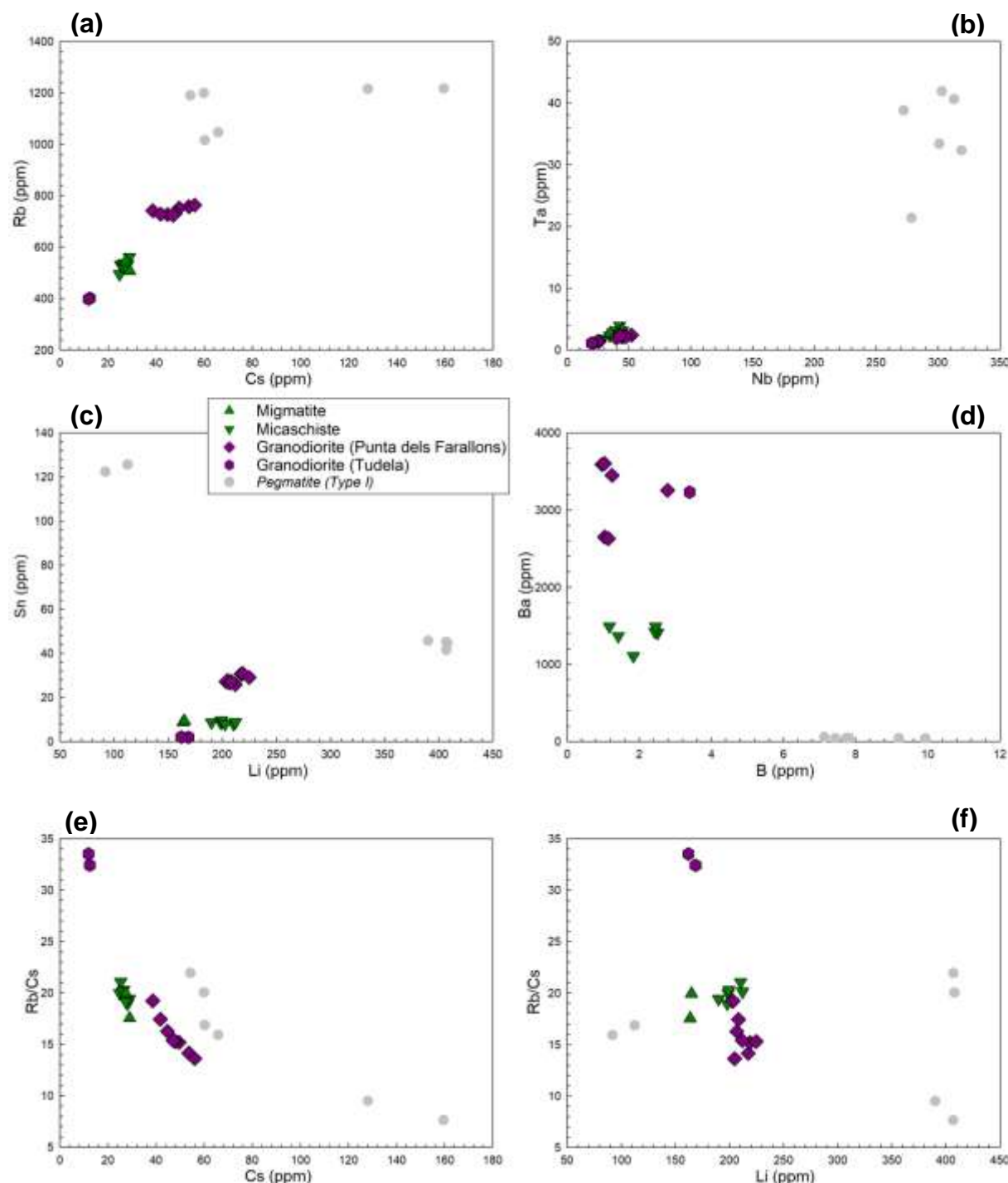


Fig. VI-13 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des biotites des roches encaissantes (données des biotites de la pegmatite en annexe) du Cap de Creus. a) Li vs Sn, b) B vs Ba, c et d) Rb / Cs vs Cs et Li respectivement. Toutes les concentrations sont données en ppm.

b. Muscovite

En plus des pegmatites, la totalité des roches encaissantes étudiées sur le terrain possède de la muscovite en plus ou moins forte abondance, ce qui a permis d'analyser in-situ l'ensemble des roches encaissantes échantillonnées.

Les analyses en éléments majeurs (tableau VI-3) des muscovites obtenues sur 9 roches encaissantes -1 micaschiste, 2 migmatites, 3 granodiorites, 2 veines de quartz et 1 leucogranite- montrent plusieurs résultats similaires aux biotites (Fig. VI-14) : i) les muscovites du leucogranite analysé sont les plus primitives avec un Mg# compris entre 0,18 et 0,27. Egalement, ii) ces muscovites sont les plus enrichies en FeO, avec des concentrations comprises entre 1,6 et 3,0 % poids (et de 0,7 à 2,0 % poids pour le reste des muscovites analysées). Enfin, iii) les teneurs des muscovites des micaschistes sont globalement similaires aux muscovites des veines de quartz pour une majorité des éléments (Al_2O_3 , TiO_2 , FeO, K_2O et Na_2O).

Du fait de la surabondance de la biotite par rapport à la muscovite dans les granodiorites, seulement 4 points d'analyses sur les deux granodiorites (Punta dels Farallons et Tudela) ont pu être fait. Ces analyses montrent une grande hétérogénéité de concentration sur la plupart des éléments majeurs analysés comme des teneurs en SiO_2 comprises entre 46,0 et 48,5 % poids ou encore des teneurs en Al_2O_3 comprises entre 31,3 et 35,1 % poids (Fig. VI-14a et b).

Les concentrations mesurées dans les muscovites des micaschistes sont quant à elles globalement homogènes, quel que soit le micaschiste analysé (migmatitique ou non). Ces concentrations sont en moyenne de 46,4 % poids de SiO_2 , 35,2 % poids d' Al_2O_3 , 1,0 % poids de FeO, 0,7 % poids de TiO_2 et 0,5 % poids de MgO. Seuls les teneurs en Na_2O et K_2O diffèrent selon le caractère migmatitique ou non des micaschistes analysés. En effet, les muscovites des micaschistes sont plus enrichies en Na_2O (1,2 % poids en moyenne) et plus appauvries en K_2O (9,4 % poids en moyenne), que les muscovites des migmatites (0,5 % poids de Na_2O et 10,4 % poids de K_2O en moyenne) (Fig. VI-14d).

Tableau VI-3 : Analyses in-situ des éléments majeurs (microsonde) et des éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites des roches encaissantes du Cap de Creus.

Rock	Micaschiste		Migmatite		Veine de quartz		Granodiorite (Tudela)	Granodiorite (Punta dels Farallons)	Leucogranite	
Microprobe (wt %)	average	range	average	range	average	range	range	range	average	range
	(n = 27)		(n = 45)		(n = 13)		(n = 2)	(n = 2)	(n = 19)	
SiO_2	46,45	[45,43-48,20]	46,34	[45,50-47,38]	47,14	[46,31-47,95]	[45,95-46,21]	[48,47-46,14]	46,59	[45,59-47,90]
TiO_2	0,53	[0,05-0,68]	0,84	[0,44-1,39]	0,69	[0,41-0,99]	[0,23-0,63]	[1,04-0,63]	0,30	[0,02-0,62]
Al_2O_3	35,40	[32,56-36,21]	35,08	[33,88-36,06]	33,90	[33,23-34,66]	[35,13-33,60]	[31,26-34,10]	33,77	[30,95-35,07]
FeO	0,84	[0,65-1,22]	1,01	[0,67-1,79]	1,37	[0,99-1,70]	[1,28-1,30]	[1,71-1,99]	2,08	[1,58-2,97]
MnO	0,02	[0,00-0,10]	0,02	[0,00-0,08]	0,03	[0,00-0,07]	[0,00-0,00]	[0,00-0,00]	0,02	[0,00-0,08]
MgO	0,54	[0,41-1,03]	0,54	[0,43-0,67]	0,80	[0,51-1,00]	[0,90-1,06]	[1,02-0,70]	0,62	[0,44-1,11]
CaO	0,01	[0,00-0,10]	0,01	[0,00-0,05]	0,01	[0,00-0,06]	[0,04-0,00]	[0,00-0,00]	0,02	[0,00-0,10]
Na_2O	1,15	[0,94-1,28]	0,52	[0,40-0,70]	0,43	[0,24-0,50]	[0,54-0,92]	[0,24-0,39]	0,31	[0,17-0,47]
K_2O	9,43	[8,83-9,86]	10,44	[9,84-10,84]	10,06	[9,61-10,22]	[9,45-9,78]	[10,12-10,36]	10,71	[9,57-11,14]
P_2O_5	0,02	[0,00-0,05]	0,02	[0,00-0,11]	b.d.	[0,00-0,00]	[0,00-0,00]	[0,07-0,07]	0,05	[0,03-0,08]
F	0,09	[0,00-0,48]	0,12	[0,00-0,35]	0,29	[0,00-0,93]	[0,32-0,15]	[0,32-0,00]	0,11	[0,00-0,50]
BaO	0,29	[0,11-0,37]	0,45	[0,33-0,86]	0,06	[0,00-0,13]	[1,30-1,55]	[1,22-1,10]	0,06	[0,00-0,17]
Cr_2O_3	0,03	[0,00-0,10]	0,04	[0,00-0,17]	0,04	[0,00-0,13]	[0,00-0,04]	[0,00-0,00]	0,01	[0,00-0,04]

Chapitre VI : Pétrogéochimie des roches encaissantes : Minéralogie, accessoires, chimie en majeurs et traces

Total	94,78	[92,15-96,14]	95,43	[93,84-96,85]	94,84	[92,88-97,33]	[95,53-94,84]	[95,48-95,47]	94,66	[93,13-95,85]
Mg#	0,39	[0,32-0,46]	0,36	[0,25-0,45]	0,37	[0,32-0,50]	[0,41-0,45]	[0,37-0,26]	0,23	[0,18-0,27]

LA-ICPMS (ppm)

	average	range	range	average	range			
	(n = 15)		(n = 2)	(n = 16)				
Li7	20	[12-44]	[39-37]	488	[403-613]	n.a	n.a	n.a
Be9	1	[1-1]	[2-b.d.1]	19	[14-25]	n.a	n.a	n.a
B11	33	[20-46]	[40-39]	47	[35-60]	n.a	n.a	n.a
P31	58	[30-101]	[b.d.1-b.d.1]	b.d.1	[b.d.1-b.d.1]	n.a	n.a	n.a
Sc45	46	[37-57]	[53-54]	28	[11-51]	n.a	n.a	n.a
Rb85	148	[130-171]	[194-190]	890	[407-1450]	n.a	n.a	n.a
Sr86	39	[27-66]	[18-21]	33	[26-66]	n.a	n.a	n.a
Y89	1	[0-1]	[0-0]	0	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Zr91	2	[0-3]	[1-1]	1	[1-1]	n.a	n.a	n.a
Nb93	17	[11-25]	[23-21]	59	[24-128]	n.a	n.a	n.a
Sn120	12	[8-17]	[17-15]	267	[184-366]	n.a	n.a	n.a
Cs133	3	[1-6]	[2-2]	45	[28-102]	n.a	n.a	n.a
Ba137	3503	[1726-5239]	[4385-4323]	1096	[371-2111]	n.a	n.a	n.a
La139	0	[0-0]	[0-0]	b.d.1	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Ce140	0	[0-0]	[b.d.1-0]	b.d.1	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Gd157	0	[0-0]	[0-0]	b.d.1	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Yb173	0	[0-0]	[b.d.1-b.d.1]	0	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Lu175	0	[0-0]	[b.d.1-b.d.1]	b.d.1	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Hf177	0	[0-0]	[0-0]	0	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Ta181	1	[1-1]	[2-2]	20	[3-97]	n.a	n.a	n.a
Pb208	12	[7-22]	[11-10]	5	[3-8]	n.a	n.a	n.a
Th232	0	[0-0]	[b.d.1-b.d.1]	0	[0-0]	n.a	n.a	n.a
U238	0	[0-0]	[b.d.1-b.d.1]	0	[0-0]	n.a	n.a	n.a
Nb/Ta	15	[11-20]	[12-11]	6	[1-9]	n.a	n.a	n.a
Rb/Cs	89	[26-155]	[92-87]	23	[6-38]	n.a	n.a	n.a
Li/Cs	10	[4-17]	[18-17]	12	[5-17]	n.a	n.a	n.a

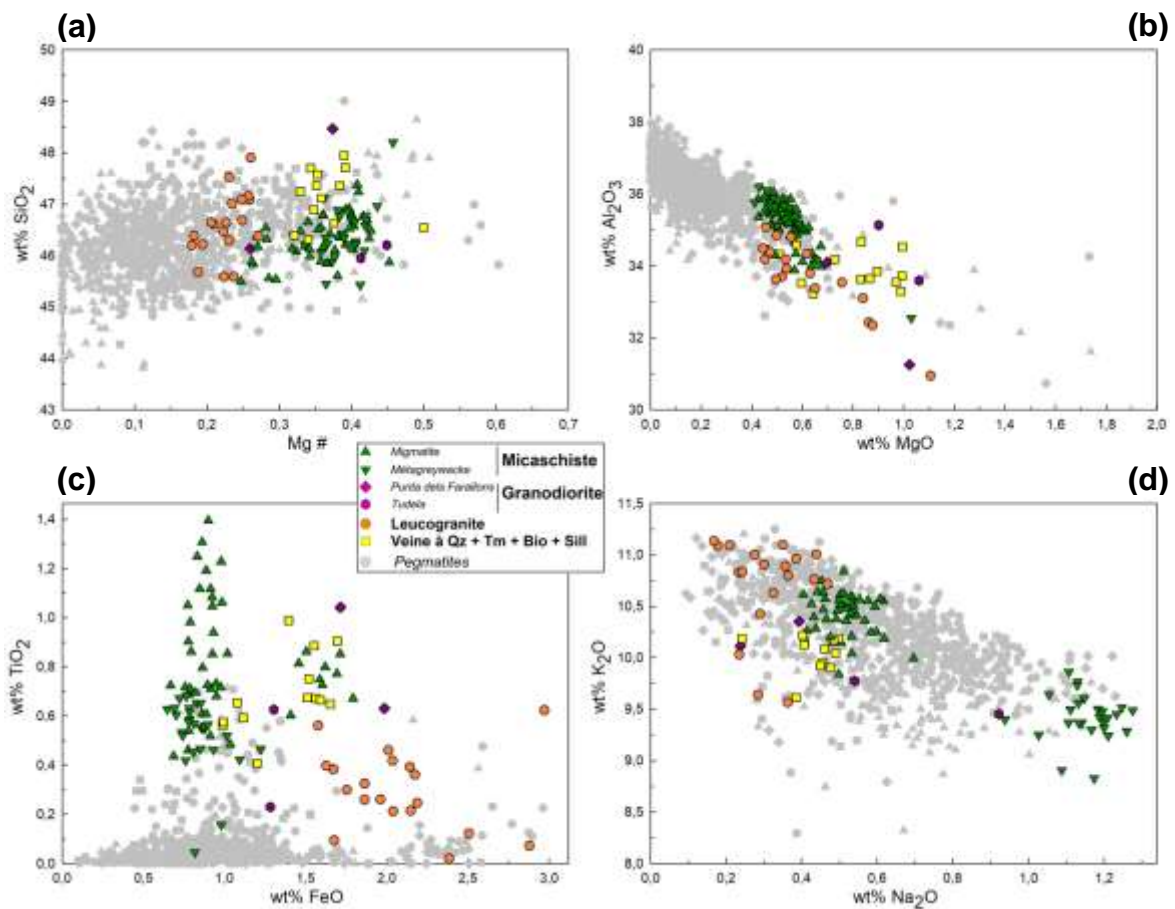


Fig. VI-14 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les muscovites des roches encaissantes du Cap de Creus. a) Mg # vs SiO₂, b) MgO vs Al₂O₃, c) FeO vs TiO₂ et d) Na₂O vs K₂O. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

Des analyses en éléments traces (LA-ICPMS) ont été réalisées sur les muscovites des micaschistes (migmatitiques et non migmatitiques) et d'une veine à quartz-muscovite-tourmaline (Fig. VI-15). Ces analyses ont été comparées avec les résultats obtenus sur les muscovites des pegmatites du CdC et deux caractéristiques majeures en ressortent : i) sur toutes les muscovites analysées lors de cette thèse, les muscovites de la veine de quartz sont les plus enrichies en Li avec des concentrations comprises en 403 et 613 ppm ; et ii) les muscovites des micaschistes sont les plus enrichies en Ba (de 1726 à 5239 ppm), particulièrement dans les migmatites et les micaschistes proches des zones migmatitiques (4757 ppm de moyenne).

On peut également noter que les muscovites de la veine de quartz ont un caractère relativement évolué avec un rapport Rb / Cs compris entre 6 et 38, et des concentrations en Cs comprises entre 28 et 102 ppm, tandis que les muscovites des micaschistes sont relativement plus primitives, avec un rapport Rb / Cs compris entre 26 et 155 ppm et de très faibles concentrations en Cs (3 ppm de moyenne). Enfin, les muscovites de la veine de quartz montrent de faibles concentrations en Sn (de 184 à 366 ppm), Nb (de 24 à 128 ppm), Ta (de 3 à 97 ppm), et B (de 35 à 60 ppm), et les muscovites des micaschistes ne présentent que de faibles concentrations en B (de 20 à 46 ppm) (le reste des éléments -Cs, Nb, Ta, Sn, Li- n'excède pas quelques ppm).

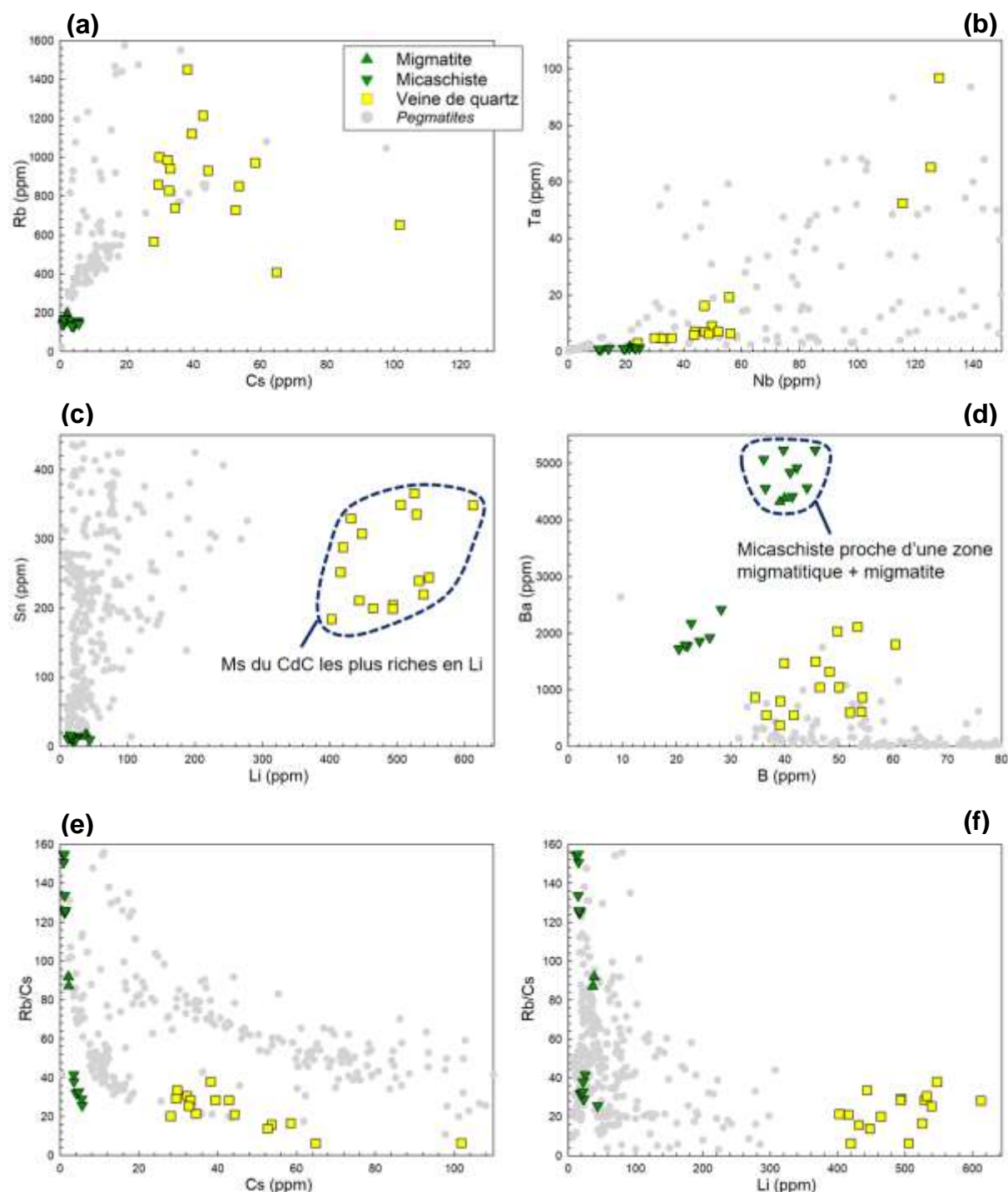


Fig. VI-15 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites des roches encaissantes du Cap de Creus. a) Cs vs Rb, b) Nb vs Ta, c) Li vs Sn, d) B vs Ba, e et f) Rb / Cs versus Cs et Li respectivement. Toutes les concentrations sont données en ppm.

c. Apatite

Les apatites des migmatites et de la granodiorite se situant dans la zone de Tudela ont fait l'objet d'analyses en éléments majeurs (microsonde) (Tableau VI-4). Ces résultats ont été comparés aux résultats obtenus à partir des apatites des pegmatites (Fig. VI-16). Les

résultats montrent que les apatites des roches encaissantes sont caractérisées par des compositions beaucoup plus homogènes que les apatites des pegmatites. Les apatites des roches encaissantes (granodiorite et migmatite) montrent des concentrations relativement homogènes en CaO (de 53,8 à 55,7 % poids), P₂O₅ (de 43,7 à 44,9 % poids), MnO (de 0 à 0,36 % poids), FeO (de 0 à 0,31 % poids), Sr (de 0 à 0,14 % poids) et Cl (de 0 à 0,15 % poids). Seul le F (de 1,83 à 3,17 % poids) montre des variations de concentrations similaires aux pegmatites. On peut noter également que les apatites des roches encaissantes sont caractérisées par de fortes concentrations en P₂O₅ et CaO, et de faibles concentrations en MnO, FeO, SrO et Cl, comparées aux apatites des pegmatites.

Tableau VI-4 : Analyses in-situ des éléments majeurs (microsonde) des apatites des roches encaissantes du Cap de Creus.

Type of Pegmatite	Migmatite		Granodiorite (Tudela)	
Microprobe (wt %)	average	range	average	range
	(n = 32)		(n = 36)	
F	2,52	[1,83-3,17]	2,28	[1,94-2,78]
Cl	0,01	[0,00-0,03]	0,11	[0,08-0,15]
H₂O	0,58	[0,27-0,92]	0,69	[0,44-0,87]
Na₂O	0,04	[0,00-0,11]	0,01	[0,00-0,08]
MgO	0,01	[0,00-0,04]	0,00	[0,00-0,02]
CaO	54,39	[53,82-55,20]	55,14	[54,38-55,72]
MnO	0,23	[0,09-0,36]	0,05	[0,00-0,13]
FeO	0,10	[0,00-0,25]	0,09	[0,00-0,31]
SrO	0,03	[0,00-0,14]	0,03	[0,00-0,12]
Al₂O₃	0,01	[0,00-0,05]	0,01	[0,00-0,05]
La₂O₃	0,05	[0,00-0,14]	0,05	[0,00-0,20]
Ce₂O₃	0,05	[0,00-0,17]	0,06	[0,00-0,20]
SiO₂	0,05	[0,00-0,17]	0,10	[0,02-0,22]
P₂O₅	44,30	[43,72-44,89]	44,49	[44,02-44,94]
SO₃	0,03	[0,00-0,09]	0,04	[0,00-0,19]
O=F, Cl	1,06	[0,77-1,34]	0,99	[0,84-1,20]
Total	101,34	[100,23-102,40]	102,16	[101,21-102,83]
CaO /MnO	271,42	[152-609]	1710,02	[423-5525]

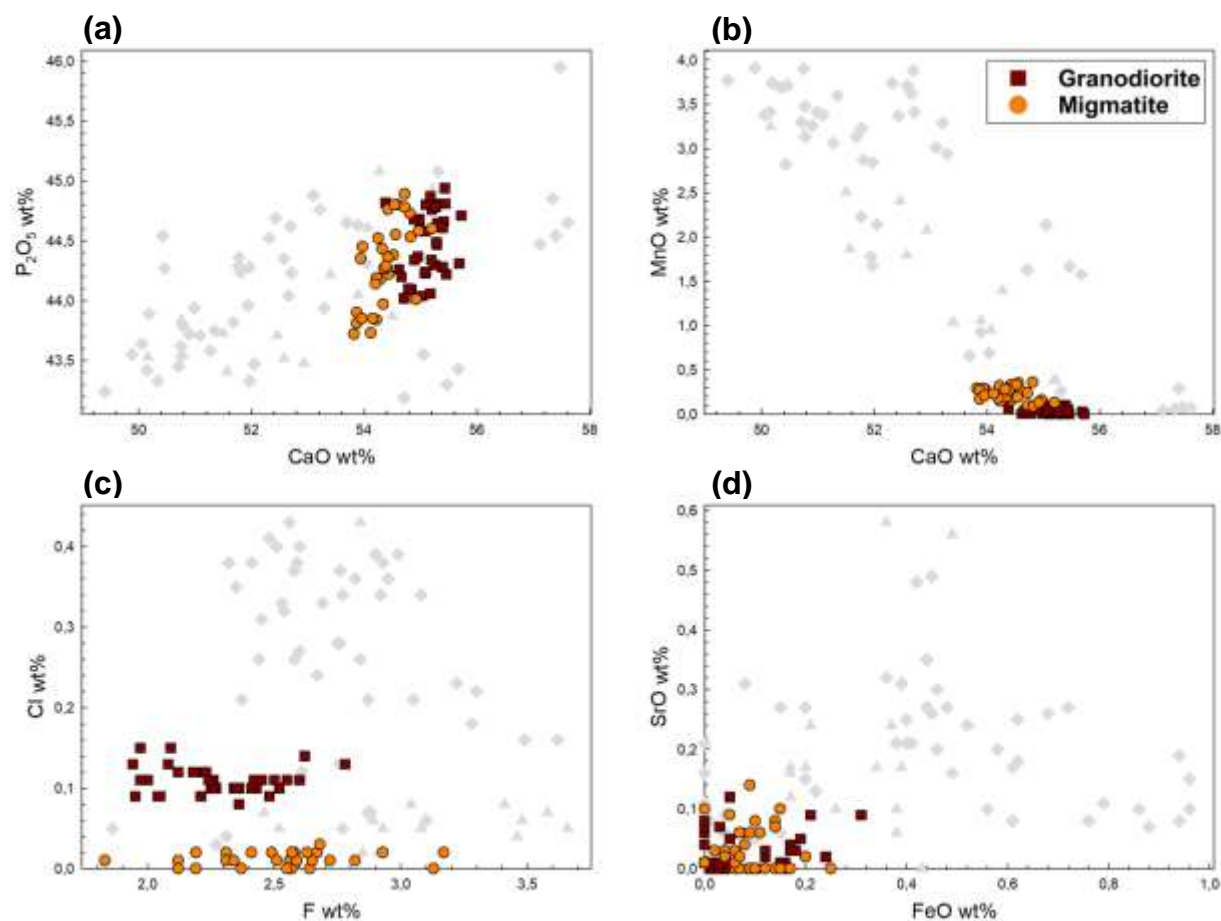


Fig. VI-16 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les apatites des roches (pegmatites et encaissants) du Cap de Creus. a) CaO vs P_2O_5 , b) CaO vs MnO, c) F vs Cl et d) FeO vs SrO. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.

VII. Synthèse : Modèle génétique des pegmatites du Cap de Creus

Partie 1. Modèle structural de mise en place

1. Chronologie relative de mise en place des pegmatites au cours de l'évènement de déformation D2

Les différents critères structuraux et microstructuraux des pegmatites du Cap de Creus et de leur roche encaissantes ont permis d'établir une chronologie relative de mise en place au cours de l'évènement de déformation régionale D2 (cf. Chapitre IV). En effet, la nature des contacts pegmatites / roches encaissantes, mais également les observations et mesures des différentes structures (foliations internes, linéations, axes de plis...) présentes au sein des pegmatites et de leurs encaissants ont permis de mettre en évidence différents épisodes de mise en place avec : 1/ des pegmatites précoces et, 2/ des pegmatites intermédiaires et tardives à la déformation régionale D2.

a. Les pegmatites précoces

Les pegmatites établies comme précoces présentent plusieurs caractéristiques structurales : elles peuvent être soit sub-parallèles à la foliation principale S1 (et sécante sur S2) et plissées, soit sécantes sur S1 et S2 et de forme relativement planaire. Dans les deux cas, ces pegmatites montrent des critères de déformation interne tels qu'une foliation interne parallèle à S2 et / ou un plan axial de pli (pour les pegmatites plissées) parallèle à S2. Ces pegmatites sont présentes sur l'ensemble de la zone d'étude, et dans la nouvelle typologie établie au cours de cette thèse, ces pegmatites appartiennent aux catégories de pegmatites de type I-a, II, III et IV. Le couplage des différentes températures de déformation obtenues à partir des travaux microstructuraux et des analyses texturales du quartz (cf. Chapitre IV), avec les estimations antérieures des pics de températures atteints dans les différentes zones métamorphiques (cor-and, sill-ms et zones d'anatexie) permettent d'établir des conditions de mises en place. Les pegmatites précoces se mettent en place avant le pic de métamorphisme D2, dans un encaissant relativement peu réchauffé, que ce soit dans les zones à cor-and (< 550°C), ou dans les zones à sill-ms (< 670°C) (Fig. VII-1). Au cours de cet épisode, les écarts de températures entre les magmas pegmatitiques et l'encaissant sont relativement élevés, ce qui permet notamment d'obtenir de grands effets « d'undercooling » (estimé jusqu'à 200 °C) dans les zones les plus froides (cor-and), permettant ainsi le développement des pegmatites les plus évoluées (type III et IV). Une fois cristallisées, ces pegmatites vont subir une déformation à l'état solide et pour certaines, elles vont enregistrer une température de déformation similaire au pic de métamorphisme -HT de déformation (~ 650 °C) pour les pegmatites les moins évoluées (type I-a) et MT/HT de déformation (~ 550 °C) pour les pegmatites les plus évoluées (type IV)-.

b. Les pegmatites intermédiaires et tardives

Les pegmatites tardives sont caractérisées par une absence de critères de déformation macroscopique (e.g. foliation). Ces pegmatites, majoritairement parallèle aux plans axiaux des plis S2 (et donc sécantes sur S1), s'observent uniquement dans les zones à fortes déformation (i.e. où il y a transposition des foliations S1 et S2) et leur alentours. Ces pegmatites sont plus ou moins boudinées dans les zones migmatitiques, et pseudo-boudinées (« string of beads like pegmatites », Bons *et al.*, 2004) dans les zones avoisinantes. Bien qu'à première vue elles ne présentent pas de déformation interne, il est possible d'observer des inter-boudins de quartz déformés (i.e. présentent une direction d'étirement caractéristique de D2).

Les pegmatites intermédiaires sont quant à elles sécantes sur S1 et S2, et peuvent présenter diverses relations avec les macrostructures D2. Elles peuvent être étirées ou plissées avec un plan axial de plis parallèle à S2 et avec ou sans foliation interne parallèle à S2. Certaines de ces pegmatites contiennent des lambeaux de roches encaissantes (micaschistes) montrant des plis P2, et sont elles-mêmes déformées de manière pénétrative par S2, montrant ainsi une mise en place après la formation de S2 mais avant la fin de l'évènement de déformation D2.

Les pegmatites intermédiaires et tardives enregistrent une température de déformation moyenne (400 à 500 °C), et des reliques de déformation de HT sont fréquemment préservées dans les pegmatites intermédiaires (~ 650°C). Les pegmatites litées de Tudela sont quant à elles, les plus grosses et les dernières à cristalliser, n'enregistrant quasi aucune déformation à l'état solide (Fig. VII-1). Tous ces arguments (mise en place parallèle à S2 ou S1-2 transposée, température de déformation...) montrent que ces pegmatites se sont mises en place nécessairement à partir du pic de métamorphisme D2, et ce jusqu'à la fin de D2, avec comme plus tardives les pegmatites litées de Tudela.

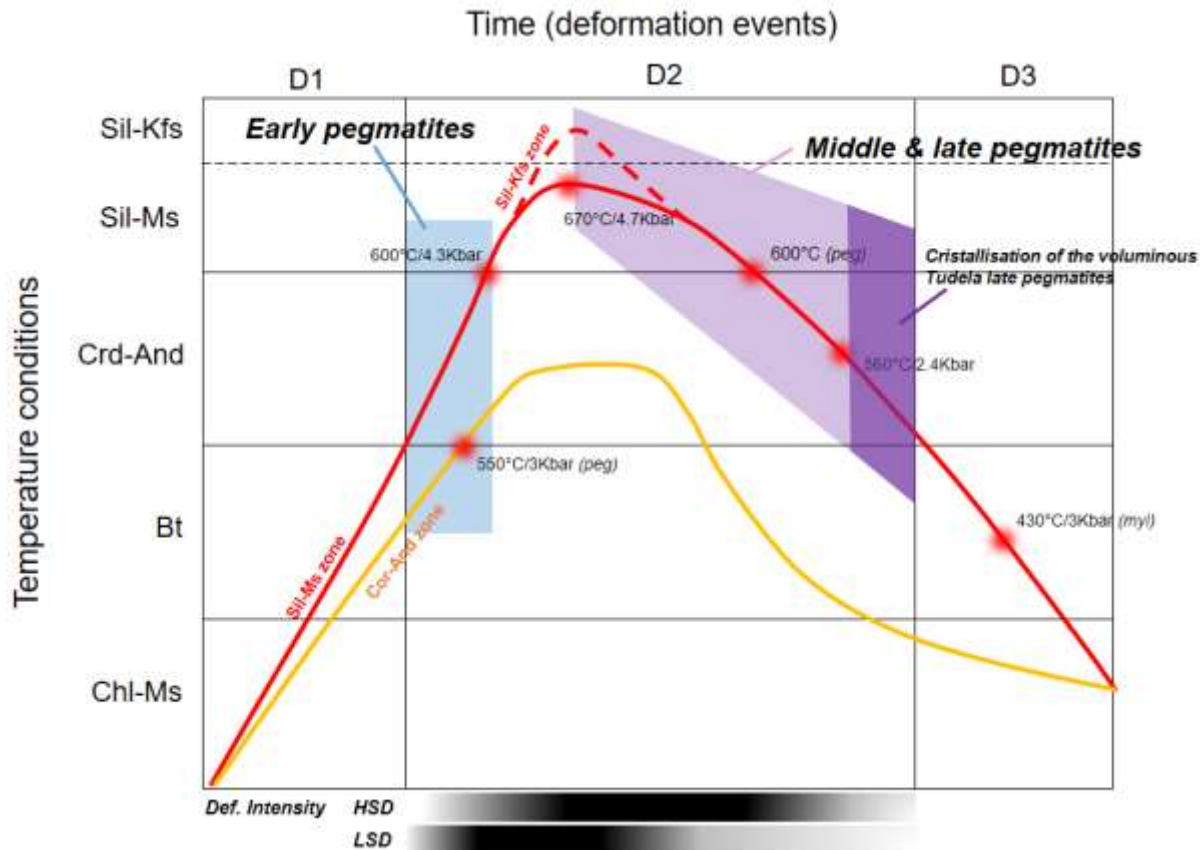


Fig. VII-1 : Diagramme P-T-t des différentes unités métamorphiques et timing de mise en place des pegmatites du Cap de Creus, modifié d'après Druguet, (2001). Sources des pegmatites : Early pegmatites = pegmatites granitiques ; Middle & Late pegmatites = pegmatites anatectiques.

2. Conséquences sur l'origine des pegmatites du Cap de Creus

Un des résultats majeurs qui ressort des travaux structuraux et microstructuraux est que les pegmatites les plus évoluées (type IV) sont précoces, alors qu'une majeure partie des pegmatites les moins évoluées (type I-b) sont tardives. Les pegmatites s'injectent donc tout au long de D2, c'est-à-dire sur plusieurs millions d'années (durée de l'évènement de déformation D2 estimée ~ 10-15 Ma, cf. publication écrite, Chapitre IV). Ce qui est contraire à une origine exclusivement granitique, qui semble impliquer d'après la bibliographie une mise en place en moins d'un million d'années, et qui implique également que les pegmatites les moins évoluées cristallisent en premier et que les plus évoluées, issues des derniers liquides d'origine granitique, cristallisent en dernier.

Au Cap de Creus, c'est l'inverse qui est observé, remettant en cause l'origine granitique de toutes les pegmatites. Cependant les travaux géochimiques effectués au cours de cette thèse ont montré qu'une partie des pegmatites étaient clairement liées génétiquement (type II, III et IV), alors que le reste (type I) montrait une origine bien distincte. Tout cela permet

d'affirmer qu'un seul modèle -granitique ou anatectique- ne suffit pas pour expliquer l'origine des pegmatites au Cap de Creus, et qu'il y a probablement plusieurs origines différentes espacées dans le temps.

Partie 2. Modèle géodynamique global de mise en place des pegmatites au Cap de Creus

1. Cristallisation magmatique primaire versus magmatique secondaire des pegmatites

Quel que soit le type (I, II, III ou IV), la cristallisation des pegmatites LCT du Cap de Creus se fait en deux étapes. (1) un stade de cristallisation magmatique primaire (de 0 à 90 % de cristallisation environ), où les zones de bordures et les zones intermédiaires cristallisent à partir d'un liquide silicaté (de composition majoritairement granitique). Tout au long de ce stade, des fluides aqueux peuvent s'exsoler. De nature relativement neutre, c'est-à-dire sans métaux rares et pouvant être légèrement enrichis en B-Li-F, ces fluides vont métasomatiser l'encaissant, formant ainsi les nombreuses zones à tourmaline + quartz (tourmalinite) au contact pegmatite / encaissant. A la fin de ce stade 1, des cœurs de quartz se forment et peuvent être extraits de la pegmatite à la faveur de la déformation en cours. Une fois extrait, ces derniers peuvent évoluer vers des veines (exsudats) enrichis en lithium ; (2) un stade de cristallisation magmatique secondaire, en fin de cristallisation (> 90 %), durant lequel les zones micacées et albitisées se forment. Durant ces derniers stades de cristallisation, si le liquide magmatique résiduel est assez évolué (type III et IV), il peut se produire une immiscibilité liquide-liquide qui va permettre une surconcentration des métaux rares (e.g. Nb-Ta) et du sodium (Na). Le liquide surconcentré va ensuite réagir avec les zones consolidées de la pegmatite, permettant ainsi la formation des albitites à Nb-Ta et / ou des zones surmicacées en remplacement du feldspath potassique, et riches en minéraux porteurs de métaux rares. Cet événement magmatique secondaire a notamment été décrit dans la pegmatite de Tanco (Van Lichtenvelde *et al.*, 2008) pour expliquer les zones fortement minéralisées en Nb-Ta.

Une des grandes particularités au Cap de Creus est que durant ces différents stades de cristallisation, il va y avoir interaction entre des fluides extérieurs (hydrothermaux / métamorphiques) et le liquide magmatique. Ce qui va notamment avoir pour conséquence l'apparition de nombreuses espèces de phosphates rares. Ces différents processus sont

décrit en détail par la suite dans la partie VII.2.3 « Conséquences sur l'origine des minéralisations ».

2. Origines des pegmatites

Au cours de cette thèse, le couplage de différentes méthodologies -structural et géochimie- à différentes échelles spatiales et temporelles a permis de répondre à la question principale posée : l'origine des pegmatites du Cap de Creus. Ce couplage fut nécessaire et primordial afin de comprendre la majorité des processus opérant sur l'ensemble des roches du Cap de Creus.

Les études antérieures ont montré que les pegmatites se mettaient en place au cours de D2 (Druguet, 2001), autour de 298 Ma (Van Lichtervelde *et al.*, 2017). Aucune chronologie relative de mise en place n'a été établie. D'autres travaux considéraient que les pegmatites étaient issues de la différenciation extrême des derniers liquides magmatiques d'un pluton granitique non visible à l'affleurement (Alfonso *et al.*, 2003). Dans ce modèle, les pegmatites les moins évoluées (Type I) seraient donc les plus précoces, et les pegmatites les plus évoluées (Type IV) les plus tardives dans leur chronologie de mise en place.

Au regard des différents résultats obtenus au cours de cette thèse, ce modèle ne convient pas. Plusieurs résultats majeurs obtenus au cours de cette thèse montrent que : i) les pegmatites les plus évoluées (type IV) sont les plus déformées, et qu'une partie des pegmatites les moins évoluées (Type I-b) sont les moins déformées. ii) Egalement qu'il existait plusieurs générations de pegmatites de type I (type I-a = précoces, type I-b = tardives). iii) La totalité des pegmatites de type II, III et IV présentent des indices de déformation à l'état solide. iv) De plus, les pegmatites de type II, III et IV sont clairement liées génétiquement, et les pegmatites de type I-b sont issues d'une source significativement différente du reste des pegmatites. v) Enfin, dès le début de D2 (et probablement jusqu'à la fin de D3) des circulations hydrothermales riches en phosphore affectent l'ensemble des roches du Cap de Creus.

L'ensemble de ces nouveaux résultats permet d'établir un modèle géologique global (Fig. VII-2) où, **II** au début de D2, un hypothétique pluton granitique se met en place à relativement moyenne profondeur (entre 9 et 15 km), engendrant une circulation hydrothermale à l'échelle régionale. Les derniers liquides de ce pluton, très enrichis en métaux rares et éléments fluants (F, B, P, Li), sont ensuite extraits du fait de l'augmentation progressive de l'intensité de déformation, et vont se propager dans l'encaissant (micaschistes). Au début de D2, cet encaissant est dominé par une schistosité principale S1, et la schistosité S2 est alors très peu développée, faisant ainsi de S1 un plan de faiblesse principale. L'injection de ces liquides pegmatitiques dans l'encaissant va permettre la mise

en place successive des pegmatites de type I-a aux type IV, pegmatites les plus évoluées mais également les plus tardives dans cette série. Cette série présente les mêmes caractéristiques que dans le modèle granitique de London (2008) où les pegmatites sont liées génétiquement (Fig. V-21 : Rb / Cs vs Cs des muscovites), mais également où les pegmatites les moins évoluées (type I et II) se mettent en place préférentiellement sub-parallèlement à la schistosité principale (S1), alors que les pegmatites les plus évoluées (type III et IV) sont sécantes sur la foliation principale. **III** Puis rapidement le pic thermique est ensuite atteint, ce qui se traduit par la formation de migmatites dans la zone nord. Provoquée probablement par plusieurs phénomènes combinés (augmentation du métamorphisme régional, mise en place de gros volumes de magmas), cette fusion partielle des metasediments de la zone, relativement riches en éléments fluants (P, B, Na) permet la formation de liquides pegmatitiques. Ces liquides faiblement évolués (type I-b) vont migrer grâce aux contraintes régionales pour former des pegmatites. Cependant cette migration reste faible, du fait du caractère faiblement évolué des liquides pegmatitiques, et la majeure partie de ces pegmatites reste très proche de leur source (zones migmatitiques et alentours). Egalement, ces pegmatites s'injectent dans un encaissant où la schistosité S2 est devenue dominante, conduisant à une mise en place préférentielle des pegmatites parallèles à S2 (et donc sécantes sur S1). Probablement active jusqu'à la fin de D2 (avec un retrait en profondeur du front de fusion), cette fusion partielle permet ainsi la formation de pegmatites sur plusieurs millions d'années (des pegmatites intermédiaires déformées aux pegmatites tardives non déformées), conduisant à un nombre conséquent de corps (majorité des pegmatites du Cap de Creus). Egalement, cela conduit au fait que l'on peut retrouver dans ces pegmatites anatectiques, des pegmatites variablement déformées (i.e. pegmatites boudinées), mais en général peu déformées (pegmatites les plus tardives).

Bien qu'ayant des sources bien distinctes -granitiques et anatectiques- les pegmatites du Cap de Creus sont globalement géochimiquement similaires. Elles sont issues de liquides pegmatitiques faiblement à moyennement évolués (dans le modèle de London, 2008), et de composition majoritairement granitique. Egalement, relativement riches (Al, P, B, Na), les micaschistes du Cap de Creus semblent globalement homogènes sur plusieurs kilomètres d'épaisseur. Ce qui implique qu'au Cap de Creus, ce n'est pas ce qui fond qui est important, mais la quantité de ce qui a fondu. En effet, on peut supposer que ce sont des metasediments géochimiquement proches qui fondent à différentes profondeurs pour donner d'un côté des pegmatites granitiques et de l'autre des pegmatites anatectiques. Seul leur degré de fractionnement différera selon les volumes de magmas mise en jeu. C'est pourquoi pour une même source moyennement enrichie (i.e. micaschistes), l'accumulation de grands volumes de magmas (pluton granitique) permet une forte concentration en métaux rares et

éléments incompatibles. Alors que de faibles quantités de magmas (issues des zones migmatitiques) continuellement extrait de leur source, et bien qu'assez enrichis pour donner des pegmatites, ne peuvent pas atteindre de très fortes concentrations en métaux rares et éléments incompatibles.

Les résultats obtenus au cours de cette thèse ont permis d'établir non seulement une chronologie relative de mise en place des pegmatites, mais ils ont également permis d'établir deux sources distinctes à l'origine de ces pegmatites. Cependant plusieurs questions demeurent autour d'une catégorie de pegmatites, les pegmatites litées de Tudela. Bien que leur litage soit probablement dû à l'injection successive et discontinue de liquides magmatiques, leur timing de mise en place ainsi que leur nature reste indéfinie. Pour rappel, ces pegmatites sont les moins déformées du Cap de Creus et sont caractérisées par un fractionnement magmatique intermédiaire entre la série granitique et la série anatectique (Fig. V-21 et 23). Une des hypothèses les plus plausibles est que plusieurs injections vont créer une zone d'accumulation qui va perdurer à l'état magmatique jusqu'à la fin de D2 (épisode métamorphique de BP / HT). Les pegmatites de type I-a (issues de la série granitique) présentes dans cette zone sont alors « phagocytées » et mélangées aux différentes injections, créant ainsi un litage minéralogique atypique mais également un signal géochimique de mélange entre des pegmatites granitiques et anatectiques.

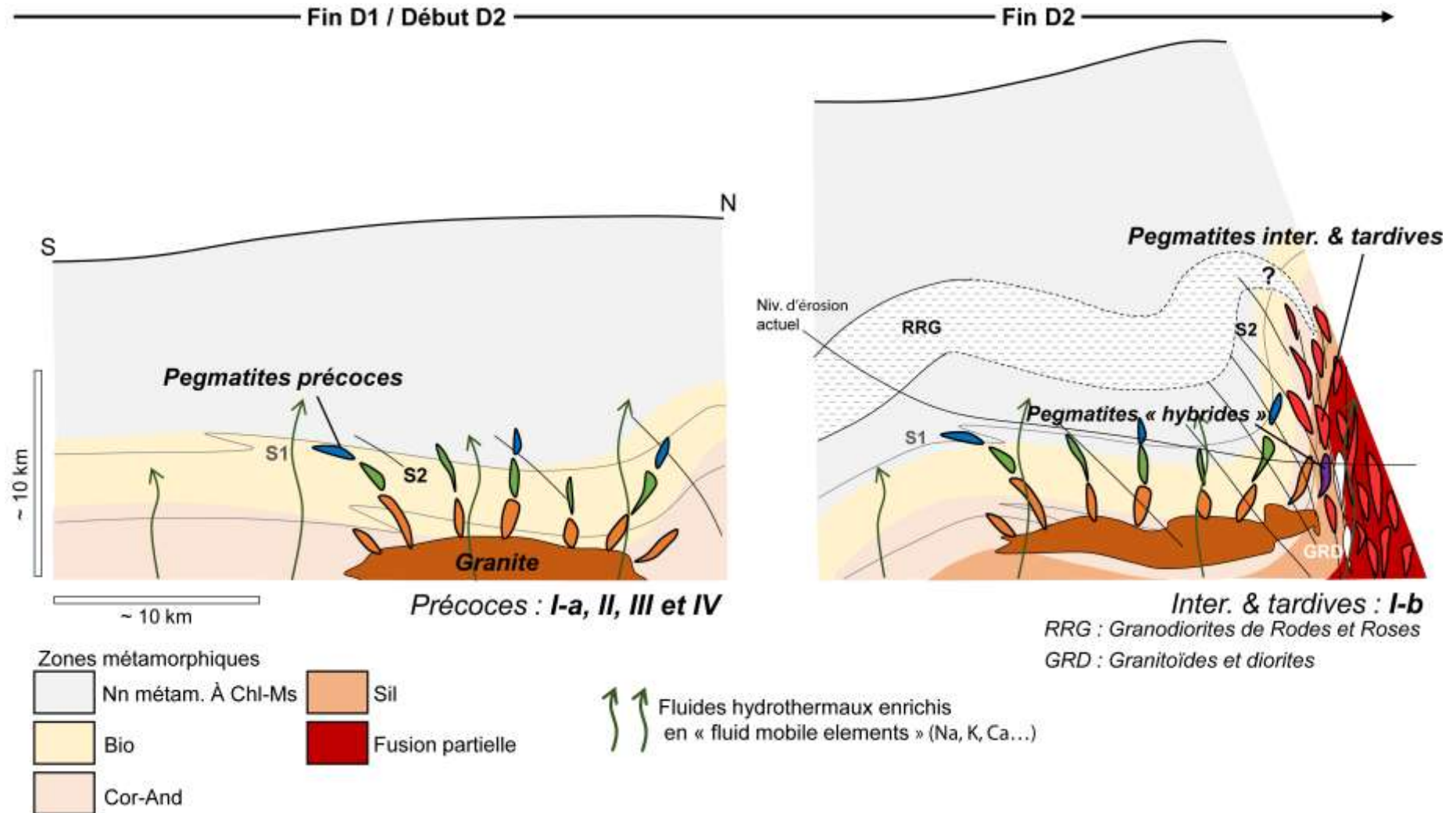


Fig. VII-2 : Modèle schématique de l'évolution tectono-métamorphique de la zone du Cap de Creus au cours de l'évènement de déformation D2, modifié d'après Druguet (2001). Au début de D2, la schistosité principale est marquée par S1 et S2 est peu développée. Des circulations hydrothermales sont déjà en place et se propagent sur l'ensemble de la pile méta-sédimentaire (micaschistes). La première série de pegmatites issue des derniers liquides du pluton granitique se met en place. A la fin de D2, la schistosité S2 est très développée, surtout dans les zones de haut grade métamorphique (zones à sil-ms et migmatites), et les zones migmatitiques créées lors du pic métamorphique ont permis la mise en place des pegmatites de la série anatectique.

3. Conséquences sur l'origine des minéralisations

Bien que les pegmatites du Cap de Creus ne soient pas très évoluées (dans le modèle de London), le contexte singulier de leur mise en place dans un environnement en déformation et leur richesse en phosphore et en bore ont conduit à des caractéristiques exceptionnelles, en particulier du point de vue des minéralisations en tourmaline et phosphates rares. Durant D2, la mise en place hypothétique de volumes importants de magmas granitiques en profondeur engendre la création et la circulation de fluides hydrothermaux au sein de la pile méta-sédimentaire. Leur circulation devient d'autant plus efficace avec l'apparition des zones migmatitiques (points chauds), engendrant une localisation de la déformation et la formation d'une zone de cisaillement, zone servant de drains pour les fluides hydrothermaux.

Enrichis en « fluid-mobile elements » tels que le fer (Fe), le manganèse (Mn), le magnésium (Mg) ou encore le titane (Ti), ces fluides vont interagir avec les pegmatites à différents stades de leur mise en place (Fig. VII-3), créant ainsi une « fertilisation » du liquide magmatique.

1) Au cours de la cristallisation des zones intermédiaires, les faibles concentrations en phosphore des pegmatites les moins évoluées (e.g. types I) ne va permettre que la cristallisation d'apatite. Au contraire, plus les liquides magmatiques sont évolués (e.g. type IV), plus la concentration en phosphore est importante, ce qui va permettre lors de l'interaction avec les fluides hydrothermaux, et donc l'ajout de « fluid-mobile elements », la cristallisation d'une grande diversité de phosphates rares (phosphates à Li-Mg-Fe-Mn-Al-Be), avec plus de 24 espèces répertoriées. Dans ces pegmatites, certaines relations texturales entre les phosphates, comme le remplacement de l'apatite par un phosphate rare à béryllium (Be), permettent d'affirmer que l'apatite est présente dès les premiers stades de cristallisation des pegmatites.

2) Durant les derniers stades de cristallisation d'une pegmatite, quel que soit son type (I, II, III ou IV), les fluides hydrothermaux vont réagir avec les derniers liquides magmatiques résiduels, formant ainsi la cristallisation de veines interstitielles aux minéraux majeurs constituants -quartz, feldspaths, micas-, et composées majoritairement de quartz, muscovite et d'apatite. Au sein des pegmatites les plus évoluées, l'interaction des fluides hydrothermaux avec les liquides magmatiques résiduels surconcentrés va engendrer une forte minéralisation en phosphate rare des zones de remplacements (albitites, zones surmicacées).

3) Lors des stades post cristallisation, les pegmatites, bien que consolidées, vont subir un dernier évènement minéralisateur engendré par les fluides hydrothermaux. Cependant, très peu d'interaction vont se faire entre les pegmatites et les fluides, produisant une

minéralisation exclusivement composée d'apatite et / ou de quartz, et s'exprimant sous forme de veines tardives recoupant l'ensemble des minéraux.

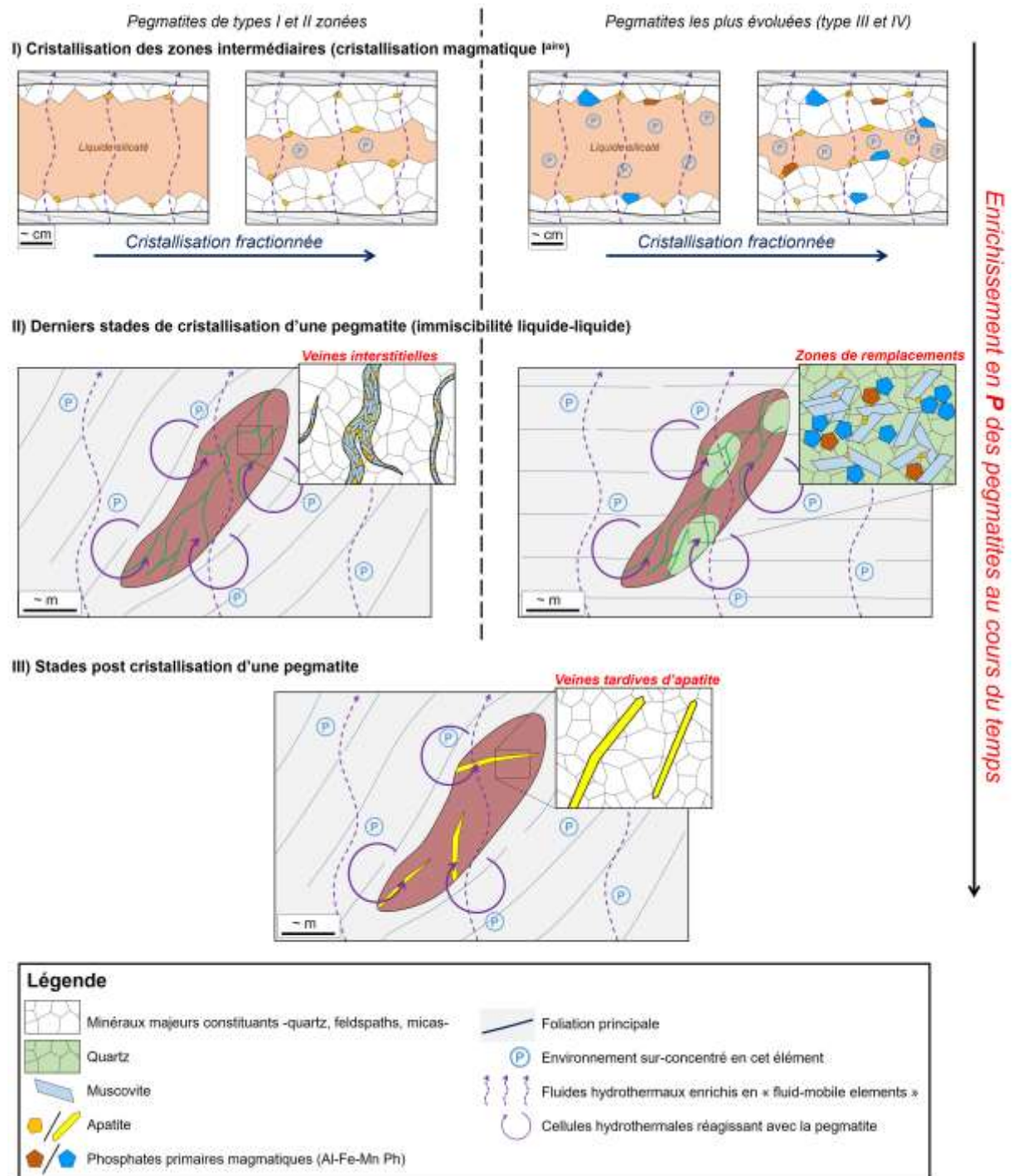


Fig. VII-3 : Etapes d'enrichissement en phosphore des pegmatites du Cap de Creus, exprimées sous forme d'apatite et de phosphates rares.

Au cours de D2, l'évènement hydrothermal associé va également affecter l'ensemble des roches encaissantes (micaschistes, migmatites, granodiorites et leucogranites). C'est dans

les zones de hauts grades métamorphiques (zones à sil-ms), et particulièrement dans les granodiorites et migmatites du CdC que les circulations hydrothermales sont les plus actives, créant ainsi de nombreuses minéralisations en apatite. Ces circulations conduisent également à une remobilisation ponctuelle des terres rares, éléments relativement enrichis dans ces lithologies (surtout pour les granodiorites), en recristallisant sous forme d'allanite et de monazite en assemblage minéralogique avec l'apatite.

La nature des fluides hydrothermaux a été caractérisée au cours de cette thèse, notamment avec l'analyse in-situ sur l'ensemble des roches du Cap de Creus. L'omniprésence de muscovite (minéral hydraté), de quartz et d'apatite montrent que ces fluides, d'origine métamorphique sont essentiellement composés d'eau, de silice et de phosphore. Les autres éléments présents -Sn, Li, B et Ba- sont issus du lessivage des minéraux primaires et attestent d'une relative mobilité au sein de fluides aqueux. Cependant, l'influence de ces fluides sur les minéraux primaires (qu'ils soient magmatiques ou métamorphiques) reste relativement faible. Les minéraux réagissant le plus sont les micas (muscovite et biotite), mais ces réactions restent limitées aux bordures des minéraux, zones pouvant être en contact direct avec les fluides.

VIII. Conclusions générales et perspectives

Aujourd'hui, il semble clair que l'étude des champs de pegmatites, notamment les travaux portant sur l'origine et la mise en place de ces champs, ne peut pas se faire d'un seul point de vue scientifique. Bien que de nouvelles méthodes soient appliquées, telle que l'étude géostatistique des champs, beaucoup trop de travaux ne s'appuient que sur un domaine des géosciences (e.g. structurale, pétrologie, géochimie...). A l'heure actuelle, les études pluridisciplinaires (e.g. structure et géochimie) sont nécessaires afin de contraindre au mieux les interprétations scientifiques. Il semble également primordial d'observer et d'analyser ces différents champs à toutes les échelles, des plus petites (e.g. microstructures) aux plus grandes (e.g. analyses géostatistiques à l'échelle régionale).

La conclusion de cette thèse est que la formation et la mise en place de champs de pegmatites sont contrôlées par de nombreux facteurs. Egalement, que les minéralisations des pegmatites peuvent être associées à des processus secondaires (e.g. hydrothermalisme), dont les origines restent encore très controversées. Des contraintes liées à la source (granitique ou anatectique), mais également aux développements des différentes déformations régionales possibles, peuvent conduire à des complexités géologiques extrêmes. Au Cap de Creus, deux champs de pegmatites de nature bien distinctes ont été clairement identifiés, cependant de nombreuses questions restent en suspens telles que l'origine des fluides secondaires (hydrothermaux / métamorphiques), ou encore l'identification de la source granitique à l'origine des pegmatites les plus évoluées. Pour cela, il serait intéressant d'effectuer des analyses isotopiques sur les apatites, ainsi que des mesures géophysiques.

Au cours de cette thèse plusieurs hypothèses ont été avancées, notamment sur les temps de cristallisation des liquides pegmatitiques, du fait d'un manque de données expérimentales sur les liquides pegmatitiques et leur mode de formation / cristallisation. Egalement, les travaux microstructuraux effectués ont montré une grande dichotomie entre ce que l'on voit sur le terrain et ce qui se passe réellement, et il n'existe aucunes études sur la déformation des pegmatites. Il serait donc fort intéressant d'apporter des informations, notamment sur les températures de cristallisation ainsi que le temps de cristallisation des liquides pegmatitiques selon la température de son encaissant. Ou encore, contraindre le modèle anatectique en observant les effets de partitionnement des éléments chimiques (e.g. les éléments volatils) au cours de la fusion partielle de métasédiments. Enfin, des études structurales et microstructurales poussées de pegmatites déformées permettraient de comprendre les différents mécanismes contraignant leur mise en place.

IX. Bibliographie

- Alfonso, P. and Melgarejo, J.C. (2000) Boron vs Phosphorus in granitic pegmatites: the Cap de Creus case (Catalonia, Spain). *Journal of the Czech Geological Society*, **45**, 131–141.
- Alfonso, P. and Melgarejo, J.C. (2003) Fluid evolution in the beryl–columbite–phosphate pegmatites of Cap de Creus (Catalonia, Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, **78–79**, 17–21.
- Alfonso, P. and Melgarejo, J.C. (2008) Fluid evolution in the zoned rare-element pegmatite field at Cap de Creus, Catalonia, Spain. *The Canadian Mineralogist*, **46**, 597–617.
- Alfonso, P., Melgarejo i Draper, J.-C. and Corbella i Cordomi, M. (1995) Nb-Ta-minerals from the cap de creus pegmatite field, eastern Pyrenees: distribution and geochemical trends. *Mineralogy and Petrology*, **55**, 53–69.
- Alfonso, P., Melgarejo, J.C., Yusta, I. and Velasco, F. (2003) Geochemistry of feldspars and muscovite in granitic pegmatite from the Cap de Creus field, Catalonia, Spain. *The Canadian Mineralogist*, **41**, 103–116.
- Alsop, G.I. and Carreras, J. (2007) The structural evolution of sheath folds: A case study from Cap de Creus. *Journal of Structural Geology*, **29**, 1915–1930.
- Bachmann, O. and Bergantz, G.W. (2004) On the Origin of Crystal-poor Rhyolites: Extracted from Batholithic Crystal Mushes. **45**, 18.
- Baker, D.R. (1998) The escape of pegmatite dikes from granitic plutons; constraints from new models of viscosity and dike propagation. *The Canadian Mineralogist*, **36**, 255–263.
- Barros, R. and Menuge, J.F. (2016) The Origin of Spodumene Pegmatites Associated With the Leinster Granite In Southeast Ireland. *The Canadian Mineralogist*, **54**, 847–862.
- Bea, F. (1996) Controls on the trace element composition of crustal melts. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **87**, 33–41.
- Bongiolo, E.M., Renac, C., Piza, P. d'Almeida de T., Schmitt, R. da S. and Mexias, A.S. (2016) Origin of pegmatites and fluids at Ponta Negra (RJ, Brazil) during late- to post-collisional stages of the Gondwana Assembly. *Lithos*, **240–243**, 259–275.
- Bons, P.D., Druguet, E., Hamann, I., Carreras, J. and Passchier, C.W. (2004) Apparent boudinage in dykes. *Journal of Structural Geology*, **26**, 625–636.
- Boullier, A.-M. and Bouchez, J.-L. (1978) Le quartz en rubans dans les mylonites. *Bulletin Société Géologique de France*, **20**, 253–262.
- Brisbin, W.C. (1986) Mechanics of pegmatite intrusion. *American Mineralogist*, **71**, 644–651.
- Brotzen, O. (1959) Outline of Mineralization in Zoned Granitic Pegmatites: A Qualitative and Comparative Study. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, **81**, 1–98.
- Burnham, C.W. and Nekvasil, H. (1986) Equilibrium properties of granite pegmatite magmas. *American Mineralogist*, **71**, 239–263.

- Cameron, E., Jahns, R., McNair, A. and Page, L. (1949) Internal structure of granitic pegmatites. *Econ. Geol.*, **Monograph 2**.
- Candami, D., Druguet, E. and Enrique, P. (2013) Measuring the effects of rheology and regional tectonics on the syntectonic rocks of a migmatitic complex from Cap de Creus. *Geogaceta*, **54**, 91–94.
- Carreras, J. (2001) Zooming on Northern Cap de Creus shear zones. *Journal of Structural Geology*, **23**, 1457–1486.
- Carreras, J. and Capella, I. (1994) Tectonic levels in the Palaeozoic basement of the Pyrenees: a review and a new interpretation. *Journal of Structural Geology*, **16**, 1509–1524.
- Carreras, J. and Druguet, E. (1994) Structural zonation as a result of inhomogeneous non-coaxial deformation and its control on syntectonic intrusions: an example from the Cap de Creus area, eastern-Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, **16**, 1525–1534.
- Carreras, J. and Druguet, E. (2014) Framing the tectonic regime of the NE Iberian Variscan segment. *Geological Society, London, Special Publications*, **405**, 249–264.
- Carreras, J., Druguet, E. and Grier, A. (2005) Shear zone-related folds. *Journal of Structural Geology*, **27**, 1229–1251.
- Casas, J.M., Navidad, M., Castiñeiras, P., Liesa, M., Aguilar, C., Carreras, J., Hofmann, M., Gärtner, A. and Linnemann, U. (2015) The Late Neoproterozoic magmatism in the Ediacaran series of the Eastern Pyrenees: new ages and isotope geochemistry. *International Journal of Earth Sciences*, **104**, 909–925.
- Cerny, P. (1991a) Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatites deposits. *Geoscience Canada*, **18**, 49.
- Cerny, P. (1991b) Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, 68.
- Cerny, P. and Ercit, T. (2005) The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist*, **43**, 2005–2026.
- Cerny, P. and Lenton, P.G. (1995) The Buck and Pegli lithium deposits, southeastern Manitoba; the problem of up-dip fractionation in subhorizontal pegmatite sheets. *Economic Geology*, **90**, 658–675.
- Cerny, P., Meintzer, R.E. and Anderson, A.J. (1985) Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms. *The Canadian Mineralogist*, **23**, 381–421.
- Cerny, P., Blevin, P.L., Cuney, M. and London, D. (2005) Granite-related ore deposits. *Soc. Econ. Geol. 100th Anniversary*, 337–370.
- Cerny, P., Halden, N.M., Ferreira, K., Meintzer, R.E., Brisbin, W.C., Chackowsky, L.E., Corkery, M.T., Longstaffe, F.J. and Trueman, D.L. (2012) Extreme fractionation and deformation of the leucogranite-pegmatite suite at Red Cross Lake, Manitoba, Canada. II Petrology of the leucogranites and pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, **50**, 1807–1822.

- Cheilletz, A., Cuney, M., Charoy, B. and Archibald, D.A. (1992) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Beauvoir topaze-lepidolite leucogranite and the Chedeville sodolithic pegmatite (North French Massif Central). Petrologic and geodynamic signification.
- Corbella i Cordomi, M. and Melgarejo, J.C. (1993) Rare-element pegmatites of Cap de Creus peninsula, northeast Spain: a new field of the beryl-phosphate subtype. *Proc. 8th IAGOD Symp. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, Germany*, 295–302.
- Damm, K.-W., Harmon, R.S., Heppner, P.-M. and Dornsiepen, U. (1992) Stable isotope constraints on the origin of the Cabo de Creus garnet-tourmaline pegmatites, Massif des Alberes, Eastern Pyrenees, Spain. *Geological Journal*, **27**, 75–86.
- Deveaud, S., Gumiaux, C., Gloaguen, E. and Branquet, Y. (2013) Spatial statistical analysis applied to rare-element LCT-type pegmatite fields: an original approach to constrain faults-pegmatites-granites relationships. *Journal of GEOsciences*, 163–182.
- Deveaud, S., Millot, R. and Villaros, A. (2015) The genesis of LCT-type granitic pegmatites, as illustrated by lithium isotopes in micas. *Chemical Geology*, **411**, 97–111.
- Dingwell, D.B., Hess, K.-U. and Knoche, R. (1996) Granite and granitic pegmatite melts: volumes and viscosities. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **87**, 65–72.
- Druguet, E. (2001) Development of high thermal gradients by coeval transpression and magmatism during the Variscan orogeny: insights from the Cap de Creus (Eastern Pyrenees). *Tectonophysics*, **332**, 275–293.
- Druguet, E. (2019) Deciphering the presence of axial-planar veins in tectonites. *Geoscience Frontiers*, **10**, 2101–2115.
- Druguet, E. and Carreras, J. (2006) Analogue modelling of syntectonic leucosomes in migmatitic schists. *Journal of Structural Geology*, **28**, 1734–1747.
- Druguet, E. and Hutton, D.H.W. (1998) Syntectonic anatexis and magmatism in a mid-crustal transpressional shear zone: an example from the Hercynian rocks of the eastern Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, **20**, 905–916.
- Druguet, E., Enrique, P. and Galán, G. (1995) Tipología de los granitoides y rocas asociadas del complejo migmatítico de la Punta dels Farallons (Cap de Creus, Pirineo Oriental). *Geogaceta*, **18**, 199–202.
- Druguet, E., Passchier, C.W., Carreras, J., Victor, P. and den Brok, S. (1997) Analysis of a complex high-strain zone at Cap de Creus, Spain. *Tectonophysics*, **280**, 31–45.
- Druguet, E., Alsop, G.I. and Carreras, J. (2009) Coeval brittle and ductile structures associated with extreme deformation partitioning in a multilayer sequence. *Journal of Structural Geology*, **31**, 498–511.
- Druguet, E., Castro, A., Chichorro, M., Pereira, M.F. and FernáNdez, C. (2014) Zircon geochronology of intrusive rocks from Cap de Creus, Eastern Pyrenees. *Geological Magazine*, **151**, 1095–1114.
- Duke, E.F., Redden, J.A. and Papike, J.J. (1988) Calamity Peal layered granite-pegmatite complex, Black Hills, South Dakota: Part I. Structure and emplacement. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **100**, 825–840.

- Evensen, J.M. (2001) The geochemical budget of beryllium in silicic melts & superliquidus, subliquidus, and starting state effects on the kinetics of crystallization in hydrous haplogranite melts. *PHD Thesis University of Oklahoma*.
- Faghih, A. and Soleimani, M. (2015) Quartz c-axis fabric development associated with shear deformation along an extensional detachment shear zone: Chapedony Metamorphic Core Complex, Central-East Iranian Microcontinent. *Journal of Structural Geology*, **70**, 1–11.
- Fenn, P.M. (1977) The nucleation and growth of alkali feldspars from hydrous melts. *The Canadian Mineralogist*, **15**, 135–161.
- Fossen, H. and Cavalcante, G.C.G. (2017) Shear zones – A review. *Earth-Science Reviews*, **171**, 434–455.
- Fuchsloch, W.C., Nex, P.A.M. and Kinnaird, J.A. (2018) Classification, mineralogical and geochemical variations in pegmatites of the Cape Cross-Uis pegmatite belt, Namibia. *Lithos*, **296–299**, 79–95.
- Fuertes-Fuente, M. and Martin-Izard, A. (1998) The Forcarei Sur rare-element granitic pegmatite field and associated mineralization, Galicia, Spain. *The Canadian Mineralogist*, **36**, 303–325.
- Fusseis, F. and Handy, M.R. (2008) Micromechanisms of shear zone propagation at the brittle–viscous transition. *Journal of Structural Geology*, **30**, 1242–1253.
- Fusseis, F., Handy, M.R. and Schrank, C. (2006) Networking of shear zones at the brittle-to-viscous transition (Cap de Creus, NE Spain). *Journal of Structural Geology*, **28**, 1228–1243.
- Gapais, D. and Laouan Brem Boundi, A. (2015) Pegmatite mylonites: origin and significance. *Geological Society, London, Special Publications*, **409**, 167–173.
- Glover, A.S., Rogers, W.Z. and Barton, J.E. (2012) Granitic Pegmatites: Storehouses of Industrial Minerals. *Elements*, **8**, 269–273.
- Goad, B.E. and Cerny, P. (1981) Peraluminous pegmatitic granites and their pegmatite aureoles in the Winnipeg River District, southeastern Manitoba. *The Canadian Mineralogist*, **19**, 177–194.
- Gomez-Rivas, E., Bons, P.D., Griera, A., Carreras, J., Druguet, E. and Evans, L. (2007) Strain and vorticity analysis using small-scale faults and associated drag folds. *Journal of Structural Geology*, **29**, 1882–1899.
- Gresens, R.H. (1969) Tectonic-hydrothermal pegmatites. I. The model. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **15**, 345–355.
- Hacker, B.R. (2013) Paradigms, new and old, for ultrahigh-pressure tectonism. *Tectonophysics*, **603**, 79–88.
- Heilbronner, R. and Tullis, J. (2006) Evolution of c axis pole figures and grain size during dynamic recrystallization: Results from experimentally sheared quartzite. *Journal of Geophysical Research*, **111**.
- Hulsbosch, N., Van Daele, J., Reinders, N., Dewaele, S., Jacques, D. and Muchez, P. (2017) Structural control on the emplacement of contemporaneous Sn-Ta-Nb mineralized

- LCT pegmatites and Sn bearing quartz veins: Insights from the Musha and Ntunga deposits of the Karagwe-Ankole Belt, Rwanda. *Journal of African Earth Sciences*, **134**, 24–32.
- Jahns, R.H. (1982) Internal evolution of pegmatite bodies. *Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook*, **8**, 293–327.
- Jahns, R.H. and Burnham, C.W. (1969) Experimental studies of pegmatite genesis; I, A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. *Economic Geology*, **64**, 843–864.
- Jahns, R.H. and Tuttle, O.F. (1963) Layered pegmatite-aplite intrusives. *Mineralogical Society of America*, **Special paper**, 78–92.
- Jessup, M.J., Law, R.D. and Frassi, C. (2007) The Rigid Grain Net (RGN): An alternative method for estimating mean kinematic vorticity number (W_m). *Journal of Structural Geology*, **29**, 411–421.
- Jolliff, B.L., Papike, J.J. and Shearer, C.K. (1987) Fractionation trends in mica and tourmaline as indicators of pegmatite internal evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**, 519–534.
- Kilian, R. and Heilbronner, R. (2017) Analysis of crystallographic preferred orientations of experimentally deformed Black Hills Quartzite. *Solid Earth*, **8**, 1095–1117.
- Kilian, R., Heilbronner, R. and Stünitz, H. (2011) Quartz microstructures and crystallographic preferred orientation: Which shear sense do they indicate? *Journal of Structural Geology*, **33**, 1446–1466.
- Konzett, J., Schneider, T., Nedyalkova, L., Hauzenberger, C., Melcher, F., Gerdes, A. and Whitehouse, M. (2018) Anatectic Granitic Pegmatites from the Eastern Alps: A Case of Variable Rare-Metal Enrichment During High-Grade Regional Metamorphism – I: Mineral Assemblages, Geochemical Characteristics, and Emplacement Ages. *The Canadian Mineralogist*, **56**, 555–602.
- Law, R.D. (2014) Deformation thermometry based on quartz c-axis fabrics and recrystallization microstructures: A review. *Journal of Structural Geology*, **66**, 129–161.
- London, D. (1986) Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatites. *American Mineralogist*, **71**, 396–405.
- London, D. (1990) Internal differentiation of rare-element pegmatites; A synthesis of recent research. *Geological Society of America*, **246**, 35–50.
- London, D. (1999) Melt boundary layers and the growth of pegmatite textures. *The Canadian Mineralogist*, **37**, 826–827.
- London, D. (2008) *Pegmatites*. P. in.: The Canadian mineralogist special publication, **10**, Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, 347 pp.
- London, D. (2009) The origin of primary textures in granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, **47**, 697–724.
- London, D. (2011) Experimental synthesis and stability of tourmaline: a historical overview. *The Canadian Mineralogist*, **49**, 117–136.

- London, D. (2014) A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites. *Lithos*, **184–187**, 74–104.
- London, D. (2018) Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geology Reviews*, **101**, 349–383.
- London, D. and Morgan, G.B. (2017) Experimental Crystallization of the Macusani Obsidian, with Applications to Lithium-rich Granitic Pegmatites. *Journal of Petrology*, **58**, 1005–1030.
- London, D., Hervig, R.L. and Morgan, G.B. (1988) Melt-vapor solubilities and elemental partitioning in peraluminous granite-pegmatite systems: experimental results with Macusani glass at 200 MPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**, 360–373.
- London, D., Morgan, G.B., Babb, H.A. and Loomis, J.L. (1993) Behavior and effects of phosphorus in the system Na₂O-K₂O-Al₂O₃-SiO₂-P₂O₅-H₂O at 200 MPa(H₂O). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **113**, 450–465.
- London, D., Morgan, G.B., Paul, K.A. and Guttery, B.M. (2012) Internal Evolution of Mirolitic Granitic Pegmatites at the Little Three Mine, Ramona, California, USA. *The Canadian Mineralogist*, **50**, 1025–1054.
- Maneta, V., Baker, D.R. and Minarik, W. (2015) Evidence for lithium-aluminosilicate supersaturation of pegmatite-forming melts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **170**, 4.
- Manning, D.A.C. (1981) The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1 kb. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **76**, 206–215.
- Marchal, K.L., Simmons, W.B., Falster, A.U., Webber, K.L. and Roda-Robles, E. (2014) Geochemistry, mineralogy, and evolution of Li-Al micas and feldspars from the Mount Mica pegmatite, Main, USA. *The Canadian Mineralogist*, **52**, 221–233.
- Martins, T., Roda-Robles, E., Lima, A. and de Parseval, P. (2012) Geochemistry and evolution of micas in the Barroso-Alvao pegmatite field, Northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, **50**, 1117–1129.
- McDonough, W.F. and Sun, S. (1995) The composition of the Earth. *Chemical Geology*, **120**, 223–253.
- Melleton, J., Gloaguen, E., Frei, D. and Lima, A. (2011) U-Pb dating of columbite-tantalite from Variscan rare-elements granites and pegmatites. *Presented at the Goldschmidt*, 1452.
- Melleton, J., Gloaguen, E., Frei, D., Novak, M. and Breiter, K. (2012) How are the emplacement of rare-element pegmatites, regional metamorphism and magmatism interrelated in the Moldanubian domain of the Variscan Bohemian massif, Czech Republic, *The Canadian Mineralogist*, **50**, 1751–1773.
- Menegon, L., Pennacchioni, G., Heilbronner, R. and Pittarello, L. (2008) Evolution of quartz microstructure and c-axis crystallographic preferred orientation within ductilely deformed granitoids (Arolla unit, Western Alps). *Journal of Structural Geology*, **30**, 1332–1347.

- Morgan, G.B. and London, D. (2005) Effect of current density on the electron microprobe analysis of alkali aluminosilicate glasses. *American Mineralogist*, **90**, 1131–1138.
- Morgan, S.S. and Law, R.D. (2004) Unusual transition in quartzite dislocation creep regimes and crystal slip systems in the aureole of the Eureka Valley–Joshua Flat–Beer Creek pluton, California: a case for anhydrous conditions created by decarbonation reactions. 23.
- Mulja, T. and Williams-Jones, A.E. (2018) The physical and chemical evolution of fluids in rare-element granitic pegmatites associated with the Lacorne pluton, Québec, Canada. *Chemical Geology*, **493**, 281–297.
- Müller, A., Romer, R.L. and Pedersen, R.-B. (2017) The Sveconorwegian Pegmatite Province – Thousands of Pegmatites Without Parental Granites. *The Canadian Mineralogist*, **55**, 283–315.
- Nabelek, P.I., Russ-Nabelek, C. and Denison, J.R. (1992) The generation and crystallization conditions of the Proterozoic Harney Peak Leucogranite, Black Hills, South Dakota, USA: Petrologic and geochemical constraints. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **110**, 173–191.
- Norton, J. (1966) Ternary diagrams of the quartz-feldspar content of pegmatites in Colorado. *Contributions to General Geology, Geological Survey Bulletin*, 1241-D.
- Novak, M., Skoda, R., Gadas, P., Krmicek, L. and Cerny, P. (2012) Contrasting Origins of the Mixed (NYF + LCT) Signature in Granitic Pegmatites, with Examples from the Moldanubian Zone, Czech Republic. *The Canadian Mineralogist*, **50**, 1077–1094.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J. (2005) *Microtectonics*. Springer.
- Piazolo, S. and Passchier, C.W. (2002) Controls on lineation development in low to medium grade shear zones: a study from the Cap de Creus peninsula, NE Spain. *Journal of Structural Geology*, **24**, 25–44.
- Pichavant, M. (1981) An Experimental Study of the Effect of Boron on a Water Saturated Haplogranite at 1 Kbar Vapour Pressure. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **76**, 430–439.
- Ponce, C., Druguet, E. and Carreras, J. (2013) Development of shear zone-related lozenges in foliated rocks. *Journal of Structural Geology*, **50**, 176–186.
- Raimbault, L. (1998) Composition of complex lepidolite-type granitic pegmatites and of constituent columbite-tantalite, Chedeville, Massif Central, France. *The Canadian Mineralogist*, **36**, 536–583.
- Ramberg, H. (1952) The origin of metamorphic and metasomatic rocks. *The University of Chicago Press, Chicago, Illinois*, 317.
- Roda Robles, E., Pesquera Perez, A., Velasco Roldan, F. and Fontan, F. (1999) The granitic pegmatites of the Fregeneda area (Salamanca, Spain): characteristics and petrogenesis. *Mineralogical Magazine*, **63**, 535–558.
- Roda-Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Torres-Ruiz, J. and De Parseval, P. (2006) Mineralogy and geochemistry of micas from the Pinilla de Fermoselle pegmatite (Zamora, Spain). *European Journal of Mineralogy*, **18**, 369–377.

- Roda-Robles, E., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Vieira, R., Lima, A., Garate-Olave, I., Martins, T. and Torres-Ruiz, J. (2016) Geology and mineralogy of Li mineralization in the Central Iberian Zone (Spain and Portugal). *Mineralogical Magazine*, **80**, 103–126.
- Roda-Robles, E., Villaseca, C., Pesquera, A., Gil-Crespo, P.P., Vieira, R., Lima, A. and Garate-Olave, I. (2018) Petrogenetic relationships between Variscan granitoids and Li-(F-P)-rich aplite-pegmatites in the Central Iberian Zone: Geological and geochemical constraints and implications for other regions from the European Variscides. *Ore Geology Reviews*, **95**, 408–430.
- Roedder, E. (1981) Natural occurrence and significance of fluids indicating high pressure and temperature. *Physics and Chemistry of the Earth*, **13–14**, 9–39.
- Romer, R.L. and Kroner, U. (2016) Phanerozoic tin and tungsten mineralization—Tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting. *Gondwana Research*, **31**, 60–95.
- Rubin, A.M. (1995) Getting granite dikes out of the source region. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **100**, 5911–5929.
- Rudnick, R.L. and Gao, S. (2003) 3.01 Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, **3**, 1-64 .
- Shaw, R.A., Goodenough, K.M., Roberts, N.M.W., Horstwood, M.S.A., Chenery, S.R. and Gunn, A.G. (2016) Petrogenesis of rare-metal pegmatites in high-grade metamorphic terranes: A case study from the Lewisian Gneiss Complex of north-west Scotland. *Precambrian Research*, **281**, 338–362.
- Shearer, C.K., Papike, J.J. and Laul, J.C. (1987) Mineralogical and chemical evolution of a rare-element granite-pegmatite system: Harney Peak Granite, Black Hills, South Dakota. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**, 473–486.
- Shearer, K., Papike, J.J. and Jolliff, B.L. (1992) Petrogenetic links among granites and pegmatites in the Harney peak rare-element granite-pegmatite-system, Black Hills, South Dakota. *The Canadian Mineralogist*, **30**, 785–809.
- Silva, D., Lima, A., Gloaguen, E., Noronha, F. and Deveaud, S. (2018) Spatial Geostatistical Analysis Applied To The Barroso-Alvão Rare-Elements Pegmatite Field (Northern Portugal). *Frontiers in Information Systems*, **1**, 67–101.
- Simmons, W., Foord, E., Falster, A. and King, V. (1995) Evidence for an anatectic origin of granitic pegmatites, Western Main, USA. *Geological Society of America, Abstracts with programs* **27**, 411.
- Simmons, W., Falster, A., Webber, K., Roda-Robles, E.N., Boudreaux, A.P., Grassi, L.R. and Freeman, G. (2016) Bulk Composition of Mt. Mica Pegmatite, Maine, USA: Implications For the Origin of An Lct Type Pegmatite By Anatexis. *The Canadian Mineralogist*, **54**, 1053–1070.
- Simmons, Wm.B.S. and Webber, K.L. (2008) Pegmatite genesis: state of the art. *European Journal of Mineralogy*, **20**, 421–438.
- Sirbescu, M.-L.C., Schmidt, C., Veksler, I.V., Whittington, A.G. and Wilke, M. (2017) Experimental Crystallization of Undercooled Felsic Liquids: Generation of Pegmatitic Texture. *Journal of Petrology*, **58**, 30.

- Stepanov, A., A. Mavrogenes, J., Meffre, S. and Davidson, P. (2014) The key role of mica during igneous concentration of tantalum. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **167**.
- Stewart, D.B. (1978) Petrogenesis of lithium-rich pegmatites. *American Mineralogist*, **63**, 970–980.
- Stilling, A., Cerny, P. and Vanstone, P.J. (2006) The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. XVI. Zonal and bulk compositions and their petrogenetic significance. *The Canadian Mineralogist*, **44**, 599–623.
- Stipp, M. and Tullis, J. (2003) The recrystallized grain size piezometer for quartz. *Geophysical Research Letters*, **30**.
- Stipp, M. and Kunze, K. (2008) Dynamic recrystallization near the brittle-plastic transition in naturally and experimentally deformed quartz aggregates. *Tectonophysics*, **448**, 77–97.
- Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner, R. and Schmid, S.M. (2002) The eastern Tonale fault zone: a 'natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700°C. *Journal of Structural Geology*, **24**, 1861–1884.
- Stipp, M., Tullis, J. and Behrens, H. (2006) Effect of water on the dislocation creep microstructure and flow stress of quartz and implications for the recrystallized grain size piezometer. *Journal of Geophysical Research*, **111**.
- Swanson, S.E. (1977) Relation of nucleation and crystal-growth rate to the development of granitic textures. *American Mineralogist*, **62**, 966–978.
- Thomas, R. and Davidson, P. (2008) Water and melt/melt immiscibility, the essential components in the formation of pegmatites; evidence from melt inclusions. *ZGW*, **36**, 347–364.
- Thomas, R. and Davidson, P. (2012) Water in granite and pegmatite-forming melts. *Ore Geology Reviews*, **46**, 32–46.
- Thomas, R. and Webster, J.D. (2000) Strong tin enrichment in a pegmatite-forming melt. *Mineralium Deposita*, **35**, 570–582.
- Thomas, R., Webster, J.D. and Heinrich, W. (2000) Melt inclusions in pegmatite quartz: complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids at low pressure. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **139**, 394–401.
- Thomas, R., Davidson, P. and Beurlen, H. (2012) The competing models for the origin and internal evolution of granitic pegmatites in the light of melt and fluid inclusion research. *Mineralogy and Petrology*, **106**, 55–73.
- Tischendorf, G., Rieder, M., Förster, H.-J., Gottesmann, B. and Guidotti, Ch.V. (2004) A new graphical presentation and subdivision of potassium micas. *Mineralogical Magazine*, **68**, 649–667.
- Trueman, D.L. and Cerny, P. (1982) Exploration for rare-element granitic pegmatites. *Mineralogical Association of Canada, Short Course in Granitic Pegmatites in Science and Industry*, **8**, 463–494.

- Turlin, F., André-Mayer, A.-S., Moukhsil, A., Vanderhaeghe, O., Gervais, F., Solgadi, F., Groulier, P.-A. and Poujol, M. (2017) Unusual LREE-rich, peraluminous, monazite- or allanite-bearing pegmatitic granite in the central Grenville Province, Québec. *Ore Geology Reviews*, **89**, 627–667.
- Van Lichtenvelde, M., Grégoire, M., Linnen, R.L., Béziat, D. and Salvi, S. (2008) Trace element geochemistry by laser ablation ICP-MS of micas associated with Ta mineralization in the Tanco pegmatite, Manitoba, Canada. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **155**, 791–806.
- Van Lichtenvelde, M., Grand'Homme, A., de Saint-Blanquat, M., Olivier, P., Gerdes, A., Paquette, J.-L., Melgarejo, J.C., Druguet, E. and Alfonso, P. (2017) U-Pb geochronology on zircon and columbite-group minerals of the Cap de Creus pegmatites, NE Spain. *Mineralogy and Petrology*, **111**, 1–21.
- Vieira, R., Roda-Robles, E., Pesquera, A. and Lima, A. (2011) Chemical variation and significance of micas from the Fregeneda-Almendra pegmatitic field (Central-Iberian Zone, Spain and Portugal). *American Mineralogist*, **96**, 637–645.
- Vlasov, K.A. (1961) Principles of classifying granite pegmatites and their textural-paragenetic types. *Transactions of the Academy of Sciences, U.S.S.R.*, **1**, 5–20.
- Wilkinson, J.J. and Nolan, J. (1996) Silicothermal fluid: A novel medium for mass transport in the lithosphere. 4.
- Williamson, B.J., Wilkinson, J.J., Luckham, P.F. and Stanley, C.J. (2002) Formation of coagulated colloidal silica in high-temperature mineralizing fluids. 8.
- Wolf, M.B. and London, D. (1995) Incongruent dissolution of REE- and Sr-rich apatite in peraluminous granitic liquids; differential apatite, monazite, and xenotime solubilities during anatexis. *American Mineralogist*, **80**, 765–775.
- Yakymchuk, C. (2017) Behaviour of apatite during partial melting of metapelites and consequences for prograde suprasolidus monazite growth. *Lithos*, **274–275**, 412–426.

X. Liste des figures

Fig. I-1 : Photo d'une tourmaline pluri-centimétriques (~5 cm) au sein d'une pegmatite. Cap de Creus, Espagne.....	15
Fig. I-2 : a) Illustration schématique de la répartition spatiale des pegmatites depuis leur source granitique, en relation avec les structures principales et le métamorphisme régionale au sein des roches encaissantes. D'après London, 2008. b) Zonation régionale de la famille des pegmatites LCT (lithium césium tantale), des pegmatites les moins évoluées (pegmatites à céramique) proches de leur source, aux pegmatites les plus évoluées (pegmatites à pétalite-spodumène et pegmatites miarolitiques) et les plus éloignées de leur source. Les traits blancs en pointillé représentent les isothermes depuis la surface (d'après London, 2014). D'après London, 2018.	19
Fig. I-3 : Représentation schématique du modèle génétique de Jahns & Burnham (1969) basé sur les concepts de Jahns et Tuttle (1963). De a) à d) Injection du liquide pegmatitique jusqu'aux derniers stades de cristallisation (pour plus d'explications voir London, 2008, p196).....	23
Fig. I-4 : Modèle schématique de la constitutional zone refining (CZR) illustrant le comportement des éléments fluants et incompatibles dans un liquide pegmatitique. De (a) à (c), concentration des éléments fluants et incompatibles le long du front de cristallisation (boundary layer liquid), favorisant ainsi la croissance des minéraux. D'après London, 2018.	25
Fig. I-5 : Schéma du modèle granitique montrant l'évolution chimique avec la distance, depuis leur source (pluton granitique hyperalumineux à biotite-muscovite), des différents types de pegmatites LCT (London, 2008).....	28
Fig. I-6 : Scénarios possibles pour la formation des champs de pegmatites zonées à partir d'un pluton granitique source (London, 2008).....	29
Fig. II-1 : Contexte géologique du Cap de Creus. a) Carte géologique schématique des Pyrénées. Seules les roches pre-Paléozoïque et Paléozoïque, ainsi que les massifs Varisques sont mis en évidence. AG – Agly ; NPF – North Pyrenean Fault ; Q-M – Querigut-Millàs ; SL-LJ – Sant Llorenç – La Jonquera ; AL – Albères ; G – Guillerries ; C-B – Costa Brava ; M – Montnegre. D'après Druguet et al., 2014. b) Zonation métamorphique et magmatisme du Cap de Creus. D'après Druguet, 2001.....	35
Fig. II-2 : Schémas vu en carte de l'évolution structurale de la zone du Cap de Creus caractérisée par les trois phases de déformations majeures Varisques. Les lignes épaisses représentent la foliation dominante à chaque stage. Les lignes continues représentent les	

foliations en cours de développement et les lignes en pointillés sont les foliations déformées. Les déformations D2 se mettent en place au cours du métamorphisme prograde alors que les déformations D3 apparaissent lors du métamorphisme rétrograde. Durant le stage intermédiaire entre D2 et D3, le métamorphisme n'est pas le même au nord et au sud : alors qu'au nord on est dans des conditions métamorphiques progrades, proche du pic, au sud se développe un métamorphisme dans des conditions rétrogrades. D'après Druguet, 2001.....	37
Fig. II-3 : Bloc diagramme schématique (et non à l'échelle) de la région du Cap de Creus montrant la nature transpressive de l'évènement de déformation D2, basée sur le modèle de Druguet (2001) et de Carreras et Druguet (2013). Les structures de déformation D2 (traits fins noirs) sont plus pénétratives avec la profondeur, et la cinématique régionale est un couplage de cisaillements simples, d'une part dextre horizontal et d'autre part inverse vertical (grosses flèches noires). D'après Druguet et al., 2014.	38
Fig. II-4 : Modèles idéalisés des structures internes et des minéralisations des différents types de pegmatites du Cap de Creus : A – Pegmatites de type I ; B – Pegmatites de type II ; C – Pegmatites de type III ; D – Pegmatites de type IV. 1 – Roche encaissante ; 2 – Zone de contact ; 3 – Zone de bordure ; 4 – 1 ^{ère} zone intermédiaire ; 5 – 2 ^{ème} zone intermédiaire ; 6 – Cœur de quartz ; 7 – Zones de remplacements albitiques ; 8 – Veines de quartz-muscovite ; 9 – Veines de tourmaline et tourmalinite ; 10 – Phosphates d'Al-Li-Be associés à des veines tardives ; 11 – Minéraux silicatés riches en Al ; 12 – Tourmaline ; 13 – Béryl ; 14 – Chrysobéryl ; 15 – Colombo-tantalite ; 16 – Rutile et oxydes riches en Ti ; 17 – Cassitérite ; 18 – minéraux porteurs de REE ; 19 – Phosphates de Be en remplacement du béryl ; 20 – Lazulite ; 21 – Phosphates de Ca-Fe-Mn-Mg ; 22 – Phosphates primaires à Li ; 23 – Phosphates à Be en remplacement du chrysobéryl. D'après Corbella et Melgarejo (1993). .	40
Fig. II-5 : Carte géologique du Cap de Creus montrant la distribution des quatre types de pegmatites. Modifié depuis Corbella i Cordomi and Melgarejo, (1993), d'après Van Lichtenvelde <i>et al.</i> , (2017).	41
Fig. III-1 : Localisation des pegmatites étudiées (études structurales, microstructurales et géochimiques) au cours de cette thèse.	48
Fig. III-2 : Echantillon d'une pegmatite (type IV) présentant une forte foliation (plan Z) accompagnée d'une linéation d'étirement (plan X). Taille de l'échantillon ~7 x 7 cm.	52
Fig. III-3 : Exemples d'observations (granodiorite de Tudela) au microscope a & b) optique en LPNA et LPA respectivement, et au c) microscope à cathodoluminescence.	54
Fig. III-4 : a) Exemple de deux diagrammes couramment utilisés pour représenter les analyses des OPR (orientations préférentielles de réseaux). Sr correspond à la foliation et Lr correspond à la linéation. Sur le stéréogramme l'orientation de l'axe <c> est donnée par les angles α et β . b) Exemples de figures de pôles avec leur contour de densité des pôles des axes <c> du quartz. La forme des contours est mise en évidence par l'utilisation d'une «	

frabric skeleton » qui retrace les crêtes de densité maximale (d'après Passchier and Trouw, 2005). c) Exemple d'étude sur l'estimation des températures lors d'une déformation. Graphique montrant la relation entre l'angle d'ouverture des figures de pôles des axes <c> du quartz en fonction de la température de déformation (d'après Faghih and Soleimani, 2015).....	55
Fig. III-5 : Représentation standard des figures de pôles pour les différents axes (<c>, <a> & <m>) du quartz. f = foliation (représentée par un plan et donc une droite sur le stéréogramme), l = linéation (représentée par une droite horizontale et donc un point sur le stéréogramme). Directions X et Z le long des axes EO et NS respectivement.....	56
Fig. III-6 : Figures de pôles caractéristiques se développant lors d'une déformation progressive non coaxiale. Ces dernières sont accompagnées d'illustration montrant les différents plans de glissement mis en jeu (basal, rhomboédrique et prismatique) selon la direction de l'axe <a> pour des déformations de basse à moyenne température, et selon la direction de l'axe <c> pour des déformations de haute température (d'après Passchier et Trouw, 2005).....	57
Fig. III-7 : Carte de localisation des pegmatites analysées au LA-ICPMS. Toutes ces pegmatites ont fait l'objet d'analyses in-situ sur muscovite, et lorsqu'il était possible, d'analyses in-situ sur biotite, grenat, tourmaline et apatite.....	60
Fig. III-8 : Exemples d'analyses LA-ICP-MS obtenues sur plusieurs minéraux (muscovite et apatite) et traitées sous le logiciel SILLIS montrant une qualité moyenne du signal (voir mauvaise pour l'apatite).	61
Fig. III-9 : Spectres d'analyses LA-ICP-MS sur une muscovite d'une pegmatite de type IV. a) Analyse réalisée au laboratoire de Montpellier. b) Analyse réalisée au GET de Toulouse....	62
Fig. III-10 : Comparaison des résultats d'analyses LA-ICP-MS (en ppm) de Toulouse (en rouge) vs Montpellier (en bleu) obtenus sur les muscovites d'une même lame. Les croix représentent les moyennes des 10 points d'analyses pour Toulouse (bleu foncé) et Montpellier (rouge foncé).....	63
Fig. V-1 : Carte géologique du Cap de Creus montrant les pegmatites précoces (en bleu) et les pegmatites intermédiaires et tardives (en rouge) à l'évènement de déformation D2.....	132
Fig. V-2 : Textures générales caractérisant les pegmatites du Cap de Creus. a) Zonation minéralogique dite « classique ». b) Texture granitique de la zone de bordure. c) Cœur de quartz relativement bien développé.	133
Fig. V-3 : Textures générales caractérisant les pegmatites du Cap de Creus. a) Aplite au sein d'une pegmatite de type I et caractérisée par des tourmalines au contact, sud de la zone de Tudela. b) Aplite litée d'une pegmatite de type III, sud du mas Rabassers de Baix.	134

Fig. V-4 : Abondances relatives des minéraux les plus communs des pegmatites du Cap de Creus : a) Grenat ; b) Tourmaline ; c) Cordiérite ; d) Biotite ; e) Muscovite ; f) phosphates (primaires magmatiques).....	135
Fig. V-5 : Abondance minéralogique relative en fonction des différents types de pegmatites du Cap de Creus.	136
Fig. V-6 : Sous-familles des pegmatites de type I-a. a et b) Pegmatites de type I-a caractérisées par une minéralogie à quartz-feldspaths-muscovite et une texture relativement homogène.	137
Fig. V-7 : Localisation des pegmatites de type I-a au sein des pegmatites de type I-b.	137
Fig. V-8 : Pétrologie et minéralogie des pegmatites de type I. a) Tourmaline, b) Cordiérite, c) Sillimanite, d) Sillimanite + biotite, e) Muscovite. f, g et h) Textures caractéristiques des pegmatites de type I. Sil = sillimanite ; Qz = quartz ; Bio = biotite ; Ms = muscovite ; Tm = tourmaline ; Gt = grenat.....	139
Fig. V-9 : Pegmatites de type I-b. Lorsque la zonation minéralogique est absente, elles peuvent être considérées comme des pegmatites granitiques.....	139
Fig. V-10 : a) Carte de localisation des pegmatites litées de Tudela. b) Photo de terrain montrant le litage magmatique des pegmatites litées de Tudela. c) Lambeau de micaschiste emprisonné dans une pegmatite litée. d) zoom sur le litage magmatique marqué par l'alignement de grenat. e) zoom sur le lambeau de micaschiste montrant le caractère intrusif de la pegmatite.....	140
Fig. V-11 : a) Apparition des phosphates primaires magmatiques (issus de la cristallisation du liquide pegmatitique) dans les pegmatites de type II. Ici, un des phosphates les plus communs au Cap de Creus, la lazulite, un phosphate d'aluminium. b) Aplite riche en tourmaline au sein d'une pegmatite de type II.	141
Fig. V-12 : Forte augmentation de l'abondance des phosphates et des minéraux porteurs de métaux rares dans les pegmatites de type III. a et b) Phosphates d'Al-Fe-Mn. c) Minéral pluri-centimétrique de béryl. d) Quartz fumé attestant du caractère évolué des pegmatites de type III. e) Image MEB d'un phosphate d'Al-Fe-Mn, ici la Ferrowylieite.	142
Fig. V-13 : Observations en microscopie a) électronique (MEB) et b) optique (lumière polarisée analysée) d'une pegmatite de type IV riche en phosphates et minéraux porteurs de métaux rares. c) texture de remplacement (albitisation) minéralisée. d) veine tardive de phosphate (apatite). e) Photo de terrain d'une pegmatite de type IV caractérisée par une surabondance de zones de remplacements.	144
Fig. V-14 : Cassitérite pluri-millimétrique d'une pegmatite de type IV.	144
Fig. V-15 : Textures caractéristiques des muscovites des pegmatites du Cap de Creus. a) Muscovites en inter-croissances avec les minéraux majeurs constituants (quartz, feldspaths) montrant une texture de cristallisation primaire (magmatique). b) Muscovites interstitielles	

aux minéraux majeurs dominants (quartz, feldspaths) montrant une texture de cristallisation secondaire. Qz = quartz ; Pl = plagioclase.....	146
Fig. V-16 : a et b) Classification des muscovites des pegmatites du Cap de Creus dans le diagramme de classification de Tischendorf <i>et al.</i> , (2004).	147
Fig. V-17 : Diagrammes SiO ₂ versus a) TiO ₂ , b) Al ₂ O ₃ , c) FeO, d) K ₂ O, e) MgO et f) Na ₂ O des muscovites des pegmatites du Cap de Creus (en % poids d'oxyde).	149
Fig. V-18 : Profils d'analyses en éléments majeurs (microsonde) de muscovites de pegmatites de a) type Ib, b) type II, c) type III et d) type IV.	150
Fig. V-19 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) analysés sur les muscovites des pegmatites du Cap de Creus. a) FeO vs TiO ₂ , b) FeO vs MgO et c) Mg # (MgO / (MgO + FeO)) vs MgO. Toutes ces concentrations sont données en % poids d'oxyde.	152
Fig. V-20 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus. a) Sn vs Li, b) Ba vs B, c) Sc vs Be et d) Ta vs Nb. Toutes les concentrations sont données en ppm.	154
Fig. V-21 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus. Diagramme Rb / Cs versus a et b) Cs, c) Sn, d) Nb / Ta, e) Li et f) B. g) Be vs B, h) Nb / Ta vs Ta. Toutes les concentrations sont données en ppm.	156
Fig. V-22 : Origine -précoce versus tardive- des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus dans un diagramme Rb / Cs versus Cs.	157
Fig. V-23 : Diagramme Rb / Cs versus Cs des pegmatites de type I -type I-a, type I-b et type I-b litées de Tudela- du Cap de Creus.	158
Fig. V-24 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les grenats des pegmatites du Cap de Creus. a) SiO ₂ vs Al ₂ O ₃ , b) MnO vs FeO, c) MgO vs Na ₂ O et d) CaO vs Cr ₂ O ₃ . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	160
Fig. V-25 : Profils d'analyses en éléments majeurs (microsonde) de grenats d'une pegmatite de type I.	161
Fig. V-26 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des grenats des pegmatites du Cap de Creus. a) Li vs P, b) Y vs Σ des REE lourdes, c) Ca vs Sc et d) Ti vs Zr. Toutes les concentrations sont données en ppm.	162
Fig. V-27 : Spider diagrams des grenats (des pegmatites) analysées au LA-ICPMS. a) Spider diagram des REE. b) Spider diagram étendu. Normalisation à la croûte supérieure d'après Rudnick and Gao, (2003).	163
Fig. V-28 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les tourmalines des pegmatites du Cap de Creus. a) SiO ₂ vs Al ₂ O ₃ , b) FeO vs MgO, c) Na ₂ O vs TiO ₂ et d) CaO vs MnO. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	165

Fig. V-29 : Mg # ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) versus a) FeO et b) CaO, et Na # ($\text{Na} / (\text{Na} + \text{Ca})$) versus c) FeO et d) CaO des tourmalines des pegmatites du Cap de Creus. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	166
Fig. V-30 : Profils d'analyses en éléments majeurs (microsonde) de tourmalines de pegmatites de, a et b) type I, et c) type III.....	167
Fig. V-31 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les colombo-tantalites des pegmatites du Cap de Creus. a) Ta_2O_5 vs Nb_2O_5 , b) MnO vs FeO , c) WO_3 vs TiO_2 et d) ZrO_2 vs SnO_2 . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.....	169
Fig. V-32 : Diagrammes géochimiques établis d'après les formules structurales calculées des colombo-tantalites des pegmatites du Cap de Creus. Diagramme $\text{Ta} / (\text{Ta} + \text{Nb})$ versus a) $\text{Mn} / (\text{Mn} + \text{Fe})$, b) Fe^{2+} , c) Ti^{4+} et d) Sc^{3+} . Toutes les concentrations sont données en apfu (atom per formula unit).	170
Fig. V-33 : Observations en microscopie a) optique (LPA) et b) électronique (MEB) d'une veine de type I (quartz + muscovite) caractérisée par une forte abondance en apatite. c) Photographie en microscopie optique (LPA) et d) cathodoluminescence de veines de type I riches en apatite (pegmatite de type IV).	172
Fig. V-34 : Observations en a et c) microscopie électronique (MEB), et b et d) cathodoluminescence de veines de type I (quartz + apatite) où l'apatite est remplacée par un phosphate de Be.	173
Fig. V-35 : Veines de type I composées de quartz et muscovite, interstitielles au minéraux majeurs constituants (quartz, feldspaths, micas primaires magmatiques), et affectant des muscovites primaires magmatiques, microscopie optique (LPA). a) Pegmatite de type IV, b) pegmatite de type I-b.....	173
Fig. V-36 : Veine de quartz + tourmaline + sillimanite + biotite + muscovite recoupant une pegmatite de type I-a, Puig de Culip.....	174
Fig. V-37 : Veines tardives de quartz recoupant l'ensemble d'une pegmatite de type I-b, est de la zone de Tudela.....	175
Fig. V-38 : Observations macroscopique (terrain) et microscopiques (optique) des textures caractéristiques des veines de type II (veines d'apatite) au sein des pegmatites du Cap de Creus. a) Veine pluri-centimétriques tardive d'apatite au sein d'une pegmatite de type IV. b et c) Veine pluri-millimétriques tardive d'apatite au sein d'une pegmatite de type II.....	176
Fig. V-39 : Veine de type II (uniquement composée d'apatite et recoupant l'ensemble des minéraux) observée en a et b) microscopie optique (LPNA et LPA respectivement), c) microscopie électronique (MEB) et d) cathodoluminescence.....	177
Fig. V-40 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites secondaires (hydrothermales / métamorphiques) des pegmatites du Cap de Creus. a et b) Diagramme Rb	

/ Cs vs Cs, c) Nb / Ta vs Sn, d) Li vs Ba, e) P vs Mn et f) B vs Sn. Toutes les concentrations sont données en ppm.	179
Fig. V-41 : a) Analyses géochimiques (éléments traces) et b) localisation des points d'analyses (LA-ICPMS) mettant en évidence des effets de bord dans les muscovites primaires magmatiques.	181
Fig. V-42 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les apatites des pegmatites du Cap de Creus. a) CaO vs P ₂ O ₅ , b) CaO vs MnO, c) F vs Cl et d) FeO vs SrO. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	184
Fig. V-43 : Analyse géochimiques (éléments majeurs) des apatites selon leur origine texturale -veine de type I vs veine de type II-. a) CaO vs P ₂ O ₅ , b) CaO vs MnO, c) F vs Cl et d) FeO vs SrO. Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	185
Fig. V-44 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des apatites des pegmatites du Cap de Creus. a et b) Analyses (Y vs Σ REE lourdes et Y vs Sr respectivement) classées selon la lithologie. c et d) Mêmes analyses classées selon l'origine texturale -veine de type I vs veine de type II-. *Totalité des terres rares non analysés (manque Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm).	186
Fig. V-45 : Spider diagrams des apatites (des pegmatites) analysées au LA-ICPMS. a et b) Spider diagram des REE et spider diagram étendu classés selon la lithologie. c et d) Spider diagram des REE et spider diagram étendu classés selon l'origine texturale -veine de type I vs veine de type II-. Normalisation aux chondrites (CI) d'après McDonough and Sun, (1995), et à la croûte supérieure (CC) d'après Rudnick and Gao, (2003).	187
Fig. V-46 : Observations en microscopie optique et électronique (MEB) d'oxydes de Nb-Ta. a) Colombo-tantalite inclus dans un minéral magmatique primaire (K Fd = feldspath potassique) et montrant une zonation typique d'une cristallisation magmatique primaire. b) Colombo-tantalite dans une veine de quartz-muscovite et montrant des textures de remplacements (« patchy zoning pattern »). Ms = muscovite ; Qz = quartz ; Ph = phosphate.	189
Fig. V-47 : Image MEB d'une colombo-tantalite issue d'une pegmatite de type III et caractérisée par un dernier évènement de déformation fragile.	190
Fig. V-48 : Analyse géochimiques (éléments majeurs) des colombo-tantalites selon leur origine texturale -primaire vs secondaire-. De a) à e) Diagramme Ta / (Ta + Nb) versus, Mn / (Mn + Fe), Sn ⁴⁺ , Ti ⁴⁺ , Fe ²⁺ et Sc ³⁺ respectivement. f) Nb / Ta vs Ta ⁵⁺ . Toutes les concentrations sont données en apfu (atom per formula unit).	191
Fig. V-49 : a) Cristallisation primaire magmatique d'une colombo-tantalite. b) Colombo-tantalite ayant subi un évènement hydrothermal / métamorphique secondaire (« patchy zoning pattern »).	192

Fig. VI-1 : Carte de localisation des roches encaissantes échantillonnées et étudiées (analyses Roche Totale, microsonde et LA-ICPMS) au cours de cette thèse.	195
Fig. VI-2 : a et b) Migmatite de la zone de Tudela riche en cordiérite, et présentant de la tourmaline. c) Photographie en microscopie optique (LPNA) d'un micaschiste à cordiérite-andalousite, ouest du Puig Palau (sud de la zone).	197
Fig. VI-3 : Observations optique (LPA) et électronique (MEB) des minéraux accessoires des micaschistes (migmatitiques et non migmatitiques) du Cap de Creus. a) Allanite dans un micaschiste à cordiérite-andalousite, ouest du Puig Palau (sud de la zone). a) Apatite + monazite dans une migmatite de la zone de Tudela. b) Apatite + monazite et ilménite dans un micaschiste à cordiérite-andalousite, ouest du Puig Palau (sud de la zone).	198
Fig. VI-4 : Veine à quartz-tourmaline-muscovite-biotite-sillimanite dans des micaschistes à sillimanite-muscovite (haut grade métamorphique), nord du Puig de Culip (nord de la zone).	198
Fig. VI-5 : Cartes de localisation des zones migmatitiques et des diorites / granodiorites associées. a) Zone de Tudela, nord de la zone d'étude, et b) zone de la Punta dels Farallons, nord-ouest de la zone d'étude.	199
Fig. VI-6 : a) Granodiorite riche en grenat de la zone de la Punta dels Farallons. Localisation exacte de l'échantillon sur la Fig. VI-1. b) Intrusion granodioritique (elle-même intrudée par un filon de pegmatite) dans les micaschistes migmatitiques de la zone de la Punta dels Farallons.	200
Fig. VI-7 : Observations en microscopie électronique (MEB) des granodiorites du Cap de Creus. a) Cristallisation secondaire (interstitielle au minéraux majeurs constituants) d'apatite + allanite dans une zone riche en micas (principalement biotite). b) Cristallisation secondaire d'apatite + monazite dans une zone riche en biotite.	200
Fig. VI-8 : Filon de leucogranite en intrusion dans la granodiorite de la Punta dels Farallons.	201
Fig. VI-9 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (Roche Totale) mesurés dans les roches encaissantes du Cap de Creus. a) SiO_2 vs Al_2O_3 , b) CaO vs FeO , c) Na_2O vs K_2O , d) MgO vs TiO_2 et e) MnO vs P_2O_5 . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	203
Fig. VI-10 : Spider diagrams des roches encaissantes du Cap de Creus. a) Spider diagram des REE. b) Spider diagram étendu. Normalisation à la croûte supérieure d'après Rudnick & Gao (2003).	204
Fig. VI-11 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les biotites des roches encaissantes du Cap de Creus. a) FeO vs MgO , b) MgO vs Al_2O_3 , c) FeO vs TiO_2 et d) MgO vs SiO_2 . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.	207

Fig. VI-12 : Mg # ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) des biotites des roches encaissantes du Cap de Creus versus a) SiO_2 et b) FeO . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.....	208
Fig. VI-13 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des biotites des roches encaissantes (données des biotites de la pegmatite en annexe) du Cap de Creus. a) Li vs Sn, b) B vs Ba, c et d) Rb / Cs vs Cs et Li respectivement. Toutes les concentrations sont données en ppm.....	209
Fig. VI-14 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les muscovites des roches encaissantes du Cap de Creus. a) Mg # vs SiO_2 , b) MgO vs Al_2O_3 , c) FeO vs TiO_2 et d) Na_2O vs K_2O . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.....	211
Fig. VI-15 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites des roches encaissantes du Cap de Creus. a) Cs vs Rb, b) Nb vs Ta, c) Li vs Sn, d) B vs Ba, e et f) Rb / Cs versus Cs et Li respectivement. Toutes les concentrations sont données en ppm.	213
Fig. VI-16 : Diagrammes binaires d'éléments majeurs (microsonde) mesurés dans les apatites des roches (pegmatites et encaissants) du Cap de Creus. a) CaO vs P_2O_5 , b) CaO vs MnO , c) F vs Cl et d) FeO vs SrO . Toutes les concentrations sont données en % poids d'oxyde.....	215
Fig. VII-1 : Diagramme P-T-t des différentes unités métamorphiques et timing de mise en place des pegmatites du Cap de Creus, modifié d'après Druguet, (2001). Sources des pegmatites : Early pegmatites = pegmatites granitiques ; Middle & Late pegmatites = pegmatites anatectiques.....	221
Fig. VII-2 : Modèle schématique de l'évolution tectono-métamorphique de la zone du Cap de Creus au cours de l'évènement de déformation D2, modifié d'après Druguet (2001). Au début de D2, la schistosité principale est marquée par S1 et S2 est peu développée. Des circulations hydrothermales sont déjà en place et se propagent sur l'ensemble de la pile méta-sédimentaire (micaschistes). La première série de pegmatites issue des derniers liquides du pluton granitique se met en place. A la fin de D2, la schistosité S2 est très développée, surtout dans les zones de haut grade métamorphique (zones à sil-ms et migmatites), et les zones migmatitiques créées lors du pic métamorphique ont permis la mise en place des pegmatites de la série anatectique.....	226
Fig. VII-3 : Etapes d'enrichissement en phosphore des pegmatites du Cap de Creus, exprimées sous forme d'apatite et de phosphates rares.....	228

XI. Liste des tableaux

Tableau III-1 : Exemples non exhaustifs issus de la base de données de terrain des roches du Cap de Creus	49
Tableau III-2 : Exemples non exhaustifs de données structurales des roches du Cap de Creus.	50
Tableau III-3 : Exemples non exhaustifs de données minéralogiques (issus des observations en microscopie optique et électronique) des roches du Cap de Creus.	51
Tableau V-1 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus.	148
Tableau V-2 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des grenats des pegmatites du Cap de Creus.....	159
Tableau V-3 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) des tourmalines des pegmatites du Cap de Creus.	164
Tableau V-4 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) des colombo-tantalites des pegmatites du Cap de Creus et leur formule structurale associées.	168
Tableau V-5 : Analyses in-situ en éléments traces (LA-ICMPS) des muscovites secondaires (veines de type I) des pegmatites du Cap de Creus.	178
Tableau V-6 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des apatites des roches (pegmatites et encaissantes) du Cap de Creus classées selon la lithologie.....	182
Tableau V-7 : Analyses in-situ en éléments majeurs (microsonde) et en éléments traces (LA-ICMPS) des apatites des pegmatites du Cap de Creus classées selon l'origine texturale (veine de type I vs veine de type II).	184
Tableau VI-1 : Analyses Roche Totale (XRF) des différentes roches encaissantes du Cap de Creus.	202
Tableau VI-2 : Analyses in-situ des éléments majeurs (microsonde) et des éléments traces (LA-ICPMS) des biotites des roches encaissantes du Cap de Creus.....	206
Tableau VI-3 : Analyses in-situ des éléments majeurs (microsonde) et des éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites des roches encaissantes du Cap de Creus.	210
Tableau VI-4 : Analyses in-situ des éléments majeurs (microsonde) des apatites des roches encaissantes du Cap de Creus.....	214

XII. Annexes

Abréviation minéralogique

Minéraux majeurs

Qz	Quartz
K Fd	Feldspath potassique
Pl	Feldspath plagioclase
Gt	Grenat
Tm	Tourmaline
Bio	Biotite
Ms	Muscovite
Cor	Cordiérite
Sill	Sillimanite
Px	Pyroxène
Ph	Phosphate primaire non différencié
Chl	Chlorite
Amp	Amphibole

Minéraux accessoires

Ap	Apatite	<i>P, Ca</i>
F Ap	Fluoroapatite	<i>P, Ca, F</i>
Mnz	Monazite	<i>P, REE</i>
All	Allanite	<i>Epidote à REE</i>
Xen	Xénotime	<i>P, Y</i>
Sar	Saryarkite	<i>P, Th, Ca, Al</i>
FerroW	Ferrowyllieite	<i>P, Al, Mn, Fe</i>
Graft	Graftonite	<i>P, Fe, Mn</i>
Sp	Spinelle	<i>MgAl₂O₄</i>
Gan	Ganhite	<i>ZnAl₂O₄</i>
Cas	Cassitérite	<i>SnO₂</i>
Cl-Tn	Cl-Tn	<i>Nb, Ta</i>
ilm	Ilménite	<i>FeTiO₃</i>
Ru	Rutile	<i>TiO₂</i>
Hé	Hématite	<i>Fe₂O₃</i>
Ba	Barytine	<i>BaSO₄</i>
Py	Pyrite	<i>FeS₂</i>
Zr	Zircon	<i>ZrSiO₄</i>
Ur	Uraninite	<i>UO₂</i>
Pyro	Pyrochlore	<i>Nb, Ta, U, Ba, Ca, Fe</i>
Bis	Bismutite	<i>Bi(CO₃)O₂</i>

1. Bases de données

a. BDD de terrain

Base de données de terrain des pegmatites du Cap de Creus.

*Typologie établie au cours de cette thèse, n.d = non définie (uniquement pour les pegmatites de type I).

Abondance minéralogique estimée sur l'ensemble de l'objet : 1 = peu abondant, 2 = abondant, 3 = très abondant.

Nom ech.	Lon	Lat	Objet	Typologie*	Relations structurales	Contact Peg/Enc	Puiss. (m)	Long. (m)	% Aplite	Ech O/N	Litage	Cœur Qz	Gt	Tm	Bio	Ms	Cor	Sill	Ph	Cl-Tn	Cas	Ox. Mn	Ox. Fe
CDC01	524544	4685730	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	4,5	15	10	O	O	N	3	2	1	1							
CDC02	524558	4685728	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	8	25	8	N	O	N	4	2	2	1	1						
CDC03	524521	4685741	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Diffus	- de 1	10	2,5	O	N	N	2	2		1	1						
CDC04	524499	4685739	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Franc	13	40	5	N	N	N	3	2	1	1	1						
CDC05	524465	4685757	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Franc	7	15	2,5	O	N	N	3	2	1		1						
CDC06	524435	4685770	Pegmatite	n.d		Diffus	- de 1	4	0	O	N	N	1	1	1	2							
CDC07	524406	4685759	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Franc	1,5	4	0	N	N	N	2	2	1	1	1						
CDC08	524390	4685773	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Diffus	4,5	40	0	O	N	N	1	2	3	1							
CDC09	524355	4685826	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		2	20	2,5	O	O	N	2	2	3	1	1	1					
CDC10	524358	4685814	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		1,5	25	8	O	N	N	2	3	1		1						
CDC11	524382	4685819	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	3	0	N	N	N	2	2	2		1						
CDC12	524333	4685817	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		2,5	10	5	O	O Aplitique aux épointes	N	2	2	2			1					
CDC13	524337	4685809	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		1,5	10	2,5	N	O Aplitique aux épointes	N	3	2	2								
CDC14	524348	4685807	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	10	0	O	N	N	2	3	1								
CDC15	524306	4685818	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc		7,5	0	N	N	N	1	3	2	1	1	1					
CDC16	524412	4685840	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		1	5,5	0	N	N	O	4	3	1	1	1						
CDC17	524436	4685853	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	2	50	13	O	O Aplitique aux épointes	N	4	3	3								
CDC18	524490	4685820	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	1,5	8,5	4	N	O Aplitique aux épointes	N	4	3	3								
CDC19	524514	4685820	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2, repris par S3	Franc	1,5	11	0	O	N	N	3	1	2		1						

CDC20	524530	4685825	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	1,5	6,5	0	O	O Aplitique aux éponites	N	3	1	2		1					
CDC21	524519	4685868	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	1,5	3,5	0	N	O Aplitique aux éponites	N	2	1			1	2				
CDC22	524516	4685880	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	1,5	4,5	0	O	N	N	2	1			1	1				
CDC23	524508	4685878	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Franc	1,5	5	2,5	N	O Aplitique aux éponites	N	2	1			1	1				
CDC24	524553	4686045	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	2,5	20	0	O	N	O	3	4			3	1				
CDC25	524606	4686031	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1	13	0	O	N	N	2	2	3		3			1		
CDC26	524633	4686037	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	28	0	N	N	N	3	4			2	1				
CDC27	524660	4686047	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	15	0	O	N	N	3	3	1		3	2				
CDC28	524683	4686050	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	6	20	0	N	N	O	3	2	2		2	2				
CDC29	524696	4686055	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	2,5	15	0	O	N	N	3	1	1		3	2				
CDC30	524674	4686071	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	7,5	0	N	N	O	2	2	3		3	1				
CDC31	524684	4686082	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	10	15	0	O	N	O	3	2	2		3	1				
CDC32	524677	4686077	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1	3	0	N	N	N	2	2	1		3	1				
CDC33	524687	4686033	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2	Diffus	1,5	35	0	O	N	N	2	2	2		3	2				
CDC34	524691	4685614	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3		10	20	0	O	N	O	2	3			3	1				
CDC35	524726	4685619	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Franc	7	60	0	N	O	N	2	4			3					
CDC36	524720	4685649	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1	Franc	13	60	8	O	N	N	3	4			3					
CDC37	524718	4685673	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1	Diffus	- de 1	15	0	N	N	N	3	2			3	1				
CDC38	523927	4684691	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	Franc	0,5	23	2	O	N	N					4			3		
CDC39	523677	4684648	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	Franc	1,5	13	5	O	N	N					3					
CDC40	524728	4685728	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	Diffus	1,5	40	2	O	N	O	3	4			3					
CDC41	524770	4685699	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1	Diffus	0,7	10	5	N	N	N	1	1			3	1				
CDC42	524765	4685706	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1	Diffus	2,5	10	0	O	N	N		1	3		1					
CDC43	524815	4685645	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1	Diffus	3	35	0	O	N	N	1		4		3					
CDC45	523311	4685245	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	Franc	1,5	90	20	O	N	O		2			3			1		
CDC46	523277	4685273	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	Franc	2	5	0	O	N	O		3			3					
CDC47	523295	4685289	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	Franc (voir com)	1,5	11	5	O	N	O		2			3					

CDC76	524364	4684785	Pegmatite	IV	Parallèle à S1 & S3	Franc	1	20	2,5	N	N	N		2		3				
CDC77	524124	4684866	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2		1	50	5	O	O	N				3				
CDC78	523506	4684493	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	Franc	1	60	10	O	O	N				3			1	
CDC79	523518	4684456	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Diffus & Franc	0,8	20	10	O	N	N		2		3				
CDC80	523521	4684428	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Franc	1,5	20	2,5	O	N	N				3				
CDC81	523519	4684405	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Franc	< 1	25	10	O	N	N		1		3				
CDC82	523479	4684403	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Franc	< 1	7	20	O	N	N				3				
CDC83	523354	4684513	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Franc	< 1	13	0	O	N	N		1		3				
CDC84	523330	4684526	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Franc	1	17	0	O	N	N		1		3				
CDC85	523289	4684526	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2, affecté par S3	Franc	< 1	35	0	O	N	N				3				
CDC88	523014	4685514	Pegmatite	II	Sécant S1 & S2		5	50	3	O	O	N		1		3				
CDC89	522983	4685549	Pegmatite	II	Parallèle à S1		1,5	50	5	O	N	N	1	1		3				
CDC90	522986	4685585	Pegmatite	II	Parallèle à S1		1	20	5	O	N	N	2	1		3				
CDC91	523327	4686242	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		0,2 à 1	30	20	O	O	N	3	2		1	3			
CDC92	523332	4686263	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2		1,5	30	3	O	N	N	2	3		2	1			
CDC93	523317	4686246	Pegmatite	I-b	Sécant S2	Franc	1	10	0	O	N	O	1	3		3				
CDC94	523254	4686515	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3									3		1				
CDC95	523230	4686745	Pegmatite	I-a	Parallèle à S1 ; Plissée par S2		0,2	5	0	O		N	2	3		3	1			
CDC96	523225	4686737	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1 & S3		15	25	0	O	O	O		3		3				
CDC97	523319	4686497	Pegmatite	I-b	Sécant S1 & S2	Franc	10	130	5	O	O Aplitique aux épones	N	3	3		2	2	1		
CDC98	523412	4686429	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1 ; Sécant S2		1,5	40	5	O	O Aplitique aux épones	O	3	3		3	1			1
CDC99	526132	4685258	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1	Franc	7	50	1	O	O Aplitique aux épones	N	3	2	2	2		1		
CDC100	526138	4685286	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1	Franc	4	25	3	O	O Faible aux épones	N	3	3	2	3				

1

CDC101	526180	4685301	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1	Franc	1,5	22	0	O	N	N	2	2	2	2	2	1				
CDC102a	526093	4685325	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1	Franc	6	90	3	O	N	N	3	3	3	2	1	1				1
CDC103a	526219	4685315	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1	Franc	1	40	5	O	O Aux éponges	N	2	3	2	3		1				
CDC103b	526209	4685321	Pegmatite	I-a	Sécant S1 & S2	Franc	0,2	10	15	O	O Aux éponges	N	1	3		3						
CDC105	525317	4684859	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1	Franc	2	17	0	O	N	N		3		3	1					1
CDC106	525320	4684847	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3		1	17	0	N	N	N		3		3						1
CDC107a	525332	4684866	Pegmatite	n.d	Parallèle à S1		2	25	0	O	N	O		3		3	1					1
CDC108	525346	4684833	Pegmatite	III	Parallèle à S1		1	25	0	O	N	N		2		3			1	1		
CDC109	525436	4684779	Pegmatite	III	Parallèle à S1		0,8	20	0	O	N	N				3						
CDC110	525681	4684717	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	Franc	1	12	0	O	N	N				3						
CDC111	525716	4684698	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	Franc	1	6	0	O	N	O				3						
CDC113	521783	4687434	Pegmatite	I-b	Intrusif		3	25	0	O	N	N	1	3	3	1	1					
CDC117b	525004	4685870	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1 ; Sécant S2		1	27	0	O	N	N	1	3	3	3	2	1				
CDC119	525021	4685856	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1		2	30	0	O	N	O	3	3	3	3	1	2				
CDC120a	525051	4685683	Pegmatite	I-a	Subparallèle à S2 ; Sécant S1		1	10	10	O	N	N		2		3						
CDC120b	525045	4685672	Pegmatite	I-a	Sécant S1 ; Plissée par S2		1	20	0	O	N	N		2		3						
CDC120c	525045	4685659	Pegmatite	I-a	Sécant S1 ; Plissée par S2		0,5	12	0	O	N	N		2		3						
CDC121	524990	4685943	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1		4	50	0	O	N	N	2	2	3	1	1					
CDC123	523886	4684734	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	Franc	1	35	0	O	N	N				3			3			
CDC124	521415	4685918	Pegmatite	III						O												
CDC126	525875	4685428	Pegmatite	I-a	Parallèle à S2 ; Sécant S1		10	50	5	N	N	O	2	3	3	1	1	1				
CDC127	525894	4685448	Pegmatite	I-a	Sécant S1		2	20	0	N	N	N	3	3	3	1		1				
CDC128	525874	4685417	Pegmatite	I-a	Sécant S1	Franc	1	20	0	O	N	N	1	3		3						
CDC130	525321	4685531	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1		1	12	5	O	N	N		2		3	1					
CDC131	525349	4685559	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1		1	20	2	O	N	N	1	1		3						
CDC132	525344	4685576	Pegmatite	I-b	Sécant S1		1	10	0	N	N	N	1	1		3	1					
CDC133	523104	4685129	Pegmatite	IV	Parallèle à S3		3	60	10	O	O	N				3			1			

CDC134	522983	4684989	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	0,8	50	0	O	N	N				3			1		1
CDC135	522940	4684988	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	0,2	40	5	O	N	N				3			2		1
CDC136	522906	4684919	Pegmatite	IV	Sécant S1 & S2	2	90	2	O	N	O				3			1	1	
CDC137	522783	4685031	Pegmatite	IV	Parallèle à S3	2	100		O	O Aux éponges	N				3			1		
CDC138	523408	4685069	Pegmatite	III	Sécant S1 & S2	1	40		O	N	N				3				1	
CDC139	524061	4685878	Pegmatite	I-a	Sub parallèle à S1 ; plissé par S2	1	90		O	N	N	1	2		3			1		
CDC140	524000	4685996	Pegmatite	I-a	Sub parallèle à S1 ; plissé S2	0,2	100		O	N	N	3			3	1		2		
CDC141	523914	4686054	Pegmatite	I-b	Plissé par S2 puis parallèle à S3	1 puis 2-3	70		O	N	N	1	2		3	1		1		
CDC142	525562	4685346	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1 ; plissé par S2	2	100		O	N	N	1	2		3	1				
CDC143	525702	4685425	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	0,3	40		O	O Parallèle à S3	N		2		3	1		2		
CDC144	525738	4685307	Pegmatite	n.d	Parallèle à S3	7	40		O	O aux éponges et parallèle à S3	O	2	1		3	1				
CDC145	526248	4685259	Pegmatite	I-b	Parallèle à S2 ; Sécant S1	5	60	2	O	O au sein S3	N	2	2		2	1		1		
CDC146	523548	4684870	Pegmatite	III					O											
CDC147	523464	4684807	Pegmatite	IV					O											
CDC148	525360	4685975	Pegmatite	I-b	Sécant S1 & S2	7	60		N	O aux éponges	N	3	3	3	2	2				
CDC149	525230	4686106	Pegmatite	I-b					N	N	N									
CDC150	524761	4685916	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1, sécant S2	1,5	70		N	N	N	1	2	3	2	1				
CDC151	524686	4685943	Pegmatite	I-b	Sub parallèle à S1	1,5			N	N	N	2	3	3	2	1				
CDC152	524664	4685952	Pegmatite	I-b	Parallèle à S1	1,5			N	O aux éponges	O	3	3	1	1	1		1		
CDC153	523757	4685565	Pegmatite	II	Sécant S1 & S2	5			N	O	N	1	3		3					
CDC154	523810	4685563	Pegmatite	II	Sécant S1 & S2	2			N	N	N	1	3		3	1				
CDC155	523827	4685649	Pegmatite	II	Sub parallèle à S1	4			N	O	N	1	2		3					
CDC156	525913	4685702	Pegmatite	n.d					N	N	N									
CDC157	524595	4686100	Pegmatite	I-b	Sécant S1-2				O	O	N	1	3	1	1	1				

b. Points GPS des roches encaissantes

Points GPS (UTM 31) des roches encaissantes étudiées au cours de cette thèse.

Nom ech.	Lon	Lat	Objet
CDC44	524770	4685701	Micaschiste migmatitique
CDC60a	523106	4685458	Veine de Qz+Tm
CDC72	524283	4684647	Quartzite
CDC73	524314	4684604	Quartzite
CDC86a	524469	4686342	Diorite
CDC86b	524422	4686313	Diorite
CDC87	523928	4684701	Micaschiste
CDC102b	526093	4685325	Veine de Qz+Tm
CDC104	526229	4685325	Micaschiste
CDC107b	525332	4684866	Tourmalinite d'éponte
CDC112	524158	4686286	Migmatite
CDC114	521787	4687436	Leucogranite
CDC115	521781	4687430	Granodiorite
CDC116	521717	4687620	Granodiorite à Gt
CDC117a	525004	4685870	Veine de Qz+Tm
CDC118	525020	4685864	Veine de Qz+Sill(Bio)
CDC122	525053	4685554	Veine de Qz+Tm
CDC125	524319	4686037	Micaschiste migmatitique
CDC129	524946	4685502	Micaschiste

c. BDD minéralogique

Tableau des abondances minéralogiques, estimées en microscopie (optique et électronique), des roches étudiées au cours de cette thèse : 1 = peu abondant, 2 = abondant, 3 = très abondant.

Nom	MINÉRAUX MAJEURS												MINÉRAUX ACCESSOIRES																											
	Objet												Phosphates										Spinelles		Oxydes		Sulfates					Divers								
		Qz	KFd	Pl	Px	Gt	Tm	Bio	Ms	Cor	Sill	Chl	Amp	Ap	F Ap	Mnz	All	Xen	Sar	FerroW	Graft	Al,Sr,Ca,Fe	Pb/Al	Sp	Gan	Cas	Cl-Tn	ilm	Ru	Hé	Ba	Py	Cu,Fe	Cd,Fe,Zn,Cu	Zr	Ur	Pyro	Bis	O	
CDC01	Pegmatite	3	3	3		2		1	1		1		3		1									2		2			1											
CDC17	Pegmatite	2	3			1		1	1		1		3						1					1		1			1							1			1	
CDC29	Pegmatite	3	3			2			3				3		1																					1				
CDC91	Pegmatite	2	3	3			1		3																															
CDC92	Pegmatite	3	3	3					2																															
CDC113	Pegmatite	3	2	2		2		2	2			2	2				1						1	1		1		1	1				1		2			1		
CDC120c	Pegmatite	3	1	2					3				3		1		1												1	1		1			1		1			
CDC56	Pegmatite												4													1									3	3			1	
CDC60b	Pegmatite	3	1	3					1				3	3													1								1	1				
CDC88b	Pegmatite	3							3																															
CDC89	Pegmatite	3	1	3					2				3	3				1									1													
CDC45a	Pegmatite	1	3	2					2																															
CDC45b	Pegmatite	2	2	3		2		1					2						2		1	1		1		1				1					1					
CDC46	Pegmatite	3	1	3		3		3																																
CDC74	Pegmatite													3													1									1				
CDC111	Pegmatite													3																1										
CDC146	Pegmatite	3		1					3																															
CDC71	Pegmatite														3												1									1				
CDC78	Pegmatite														3											2	3									1				
CDC79	Pegmatite	3		3					3																															
CDC85	Pegmatite	3		1					3						3														1											
CDC85	Contact Peg. / MicaS.														3																									
CDC85	Micaschiste	3				1	3	2				1		3		2												3							2					

CDC123	Pegmatite	3					3				2					1						3							1		
CDC147	Pegmatite	3		1			3																								
CDC44	Migmatite	3		1		1	1	3	1		1	1		3		1			1			1							3		
CDC49	Veine peg. à texture γ	3	1	2				3																							
CDC86b	Diorite	3		3		1		3	1		2	1		3		1						3		1					1		
CDC87	Micaschiste													3	3							3							1		
CDC104	Micaschiste	3		1				3	1					1	3		1					1		1					3		
CDC112	Migmatite													3	3										1				1		
CDC114	Leucogranite	3	2	3				2	2																						
CDC115	Granodiorite													2		1							2						1		
CDC116	Granodiorite à Gt													3	1		2						1						3		

2. Tableaux d'analyses

a. Muscovites des pegmatites

Tableau d'analyses en éléments majeurs (microsonde) des muscovites des pegmatites du

Cap de Creus. Concentrations en % poids d'oxyde.

Nom Pts	Type	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	F	BaO	Cr2O3	Total
CDC001-C2-01	I-b	46,64	0,61	35,21	0,88	0,02	0,47	0,00	0,40	10,79	0,09	0,00	0,00	0,03	95,13
CDC001-C2-02	I-b	46,56	0,29	35,89	0,81	0,04	0,44	0,00	0,42	10,41	0,08	0,00	0,00	0,00	94,93
CDC001-C2-03	I-b	46,40	0,08	35,68	1,02	0,03	0,46	0,03	0,42	10,93	0,06	0,00	0,03	0,02	95,15
CDC001-C2-04	I-b	45,92	0,27	35,08	1,04	0,02	0,41	0,04	0,46	10,81	0,01	0,00	0,00	0,07	94,19
CDC001-C2-05	I-b	46,58	0,01	36,37	0,66	0,05	0,28	0,01	0,35	10,92	0,05	0,00	0,00	0,06	95,39
CDC001-C3-01	I-b	46,36	0,47	35,67	1,03	0,00	0,42	0,02	0,45	10,64	0,00	0,08	0,00	0,05	95,17
CDC001-C3-02	I-b	46,60	0,39	36,30	0,97	0,04	0,48	0,00	0,48	10,56	0,07	0,00	0,00	0,01	95,90
CDC001-C3-03	I-b	46,60	0,01	37,11	0,59	0,01	0,04	0,00	0,38	10,73	0,25	0,00	0,00	0,00	95,71
CDC001-C3-04	I-b	46,98	0,22	35,28	1,43	0,00	0,61	0,02	0,41	10,03	0,05	0,00	0,00	0,00	95,06
CDC001-C3-05	I-b	46,20	0,02	35,62	1,17	0,00	0,31	0,00	0,37	10,30	0,06	0,00	0,00	0,01	94,06
CDC001-C4-01	I-b	46,80	0,02	36,53	0,84	0,00	0,26	0,03	0,51	10,67	0,05	0,18	0,00	0,00	95,89
CDC001-C4-02	I-b	47,09	0,07	35,81	0,78	0,04	0,36	0,00	0,44	10,80	0,07	0,00	0,02	0,00	95,55
CDC001-C4-04	I-b	46,36	0,06	36,17	0,69	0,02	0,33	0,00	0,30	10,73	0,03	0,00	0,01	0,00	94,72
CDC001-C4-05	I-b	46,47	0,02	35,46	0,86	0,01	0,50	0,00	0,33	10,70	0,06	0,00	0,00	0,01	94,40
CDC001-C4-07	I-b	46,53	0,02	36,78	0,77	0,01	0,09	0,00	0,38	10,96	0,06	0,08	0,01	0,02	95,69
CDC001-C4-08	I-b	46,10	0,00	36,69	0,72	0,00	0,17	0,00	0,30	11,16	0,05	0,15	0,03	0,04	95,42
CDC017-C1-01	I-b	46,21	0,03	35,65	0,70	0,01	0,32	0,01	0,37	10,63	0,06	0,33	0,00	0,02	94,36
CDC017-C1-02	I-b	46,45	0,04	35,87	0,70	0,10	0,26	0,00	0,36	10,42	0,02	0,30	0,00	0,00	94,53
CDC017-C1-03	I-b	47,25	0,03	36,10	0,85	0,08	0,32	0,00	0,28	10,40	0,05	0,00	0,00	0,01	95,37
CDC017-C1-04	I-b	46,77	0,01	35,48	1,02	0,03	0,50	0,00	0,55	10,83	0,05	0,00	0,00	0,03	95,29
CDC017-C1-05	I-b	47,08	0,02	35,78	0,80	0,00	0,41	0,00	0,47	10,66	0,06	0,13	0,00	0,00	95,44
CDC017-C2-01	I-b	46,95	0,00	36,94	0,56	0,09	0,22	0,03	0,39	8,29	0,06	0,08	0,00	0,00	93,64
CDC017-C2-02	I-b	45,69	0,00	36,22	0,81	0,00	0,14	0,00	0,50	10,63	0,05	0,00	0,00	0,10	94,15
CDC017-C2-03	I-b	45,77	0,00	36,25	0,80	0,01	0,17	0,00	0,47	10,64	0,06	0,25	0,00	0,00	94,42
CDC017-C2-04	I-b	46,35	0,00	36,70	0,82	0,00	0,18	0,00	0,48	10,79	0,06	0,08	0,00	0,06	95,53
CDC017-C2-05	I-b	47,26	0,01	36,84	0,78	0,00	0,20	0,00	0,53	9,41	0,05	0,23	0,00	0,02	95,33
CDC017-C3-01	I-b	46,51	0,03	35,76	0,84	0,00	0,38	0,00	0,33	11,25	0,04	0,08	0,00	0,00	95,22
CDC017-C3-02	I-b	46,71	0,07	36,46	0,49	0,00	0,40	0,00	0,40	10,81	0,03	0,00	0,00	0,00	95,40
CDC017-C3-03	I-b	45,81	0,01	37,16	0,45	0,00	0,08	0,00	0,40	10,88	0,04	0,20	0,00	0,05	95,11
CDC017-C3-04	I-b	46,38	0,02	36,05	0,52	0,00	0,15	0,00	0,37	10,84	0,06	0,00	0,00	0,00	94,39
CDC017-C3-05	I-b	47,13	0,00	35,40	0,85	0,03	0,41	0,00	0,37	11,06	0,06	0,41	0,00	0,00	95,73
CDC017-C3-06	I-b	46,59	0,00	35,65	0,93	0,00	0,46	0,00	0,36	10,90	0,06	0,53	0,00	0,02	95,51
CDC017-C3-07	I-b	47,22	0,02	35,27	0,78	0,00	0,46	0,00	0,37	10,48	0,05	0,00	0,00	0,03	94,67
CDC017-C3-08	I-b	47,40	0,01	34,68	1,19	0,03	0,55	0,00	0,43	10,75	0,01	0,20	0,00	0,00	95,29
CDC029-C1-01	I-b	46,53	0,09	35,45	0,93	0,00	0,51	0,00	0,65	10,46	0,08	0,00	0,03	0,00	94,73
CDC029-C1-02	I-b	45,82	0,02	34,26	1,14	0,05	1,73	0,07	0,30	9,40	0,03	0,28	0,00	0,08	93,17
CDC029-C1-03	I-b	46,52	0,02	35,67	0,79	0,04	0,35	0,00	0,47	10,83	0,07	0,00	0,00	0,03	94,79
CDC029-C1-04	I-b	46,64	0,00	35,85	0,80	0,03	0,42	0,02	0,67	10,42	0,06	0,21	0,00	0,00	95,12
CDC029-C2-01	I-b	47,57	0,02	36,82	0,50	0,00	0,39	0,00	0,34	10,76	0,07	0,10	0,00	0,04	96,60
CDC029-C2-02	I-b	46,82	0,12	35,88	0,64	0,00	0,24	0,00	0,50	10,64	0,04	0,00	0,00	0,00	94,88
CDC029-C2-03	I-b	46,10	0,01	35,71	0,52	0,07	0,40	0,00	0,53	10,43	0,04	0,00	0,00	0,00	93,80
CDC029-C2-04	I-b	45,82	0,15	35,60	0,58	0,04	0,52	0,00	0,39	10,45	0,03	0,00	0,00	0,00	93,58
CDC029-C2-05	I-b	46,62	0,09	36,24	0,66	0,00	0,34	0,00	0,38	10,89	0,03	0,00	0,00	0,00	95,27
CDC029-C2-06	I-b	46,61	0,06	36,90	0,43	0,03	0,26	0,05	0,47	10,37	0,04	0,00	0,00	0,08	95,27
CDC029-C3-01	I-b	46,82	0,01	36,55	0,61	0,02	0,25	0,00	0,44	10,78	0,05	0,00	0,01	0,00	95,55
CDC029-C3-02	I-b	46,93	0,02	36,28	0,66	0,05	0,32	0,00	0,62	10,69	0,04	0,00	0,04	0,04	95,69
CDC029-C4-01	I-b	46,57	0,00	36,23	0,63	0,06	0,28	0,01	0,53	10,77	0,03	0,21	0,00	0,03	95,35
CDC029-C4-02	I-b	46,26	0,02	36,57	0,52	0,03	0,26	0,00	0,49	10,78	0,07	0,08	0,03	0,00	95,10
CDC029-C4-03	I-b	46,64	0,00	36,32	0,58	0,02	0,25	0,03	0,43	10,64	0,05	0,00	0,00	0,04	94,99
CDC029-C4-04	I-b	46,22	0,00	36,19	0,57	0,00	0,20	0,00	0,45	10,87	0,10	0,08	0,01	0,02	94,71
CDC029-C4-05	I-b	46,40	0,02	35,98	0,59	0,01	0,27	0,03	0,30	10,92	0,07	0,13	0,04	0,08	94,84
CDC029-C4-06	I-b	46,30	0,04	35,95	0,59	0,01	0,75	0,00	0,32	10,58	0,05	0,00	0,00	0,02	94,61
CDC029-C4-07	I-b	46,62	0,02	36,33	0,57	0,00	0,22	0,00	0,41	10,76	0,10	0,21	0,03	0,00	95,26
CDC029-C4-08	I-b	46,59	0,08	35,80	0,70	0,00	0,96	0,01	0,36	9,62	0,04	0,00	0,00	0,00	94,15
CDC029-C4-09	I-b	47,10	0,08	36,28	0,59	0,02	0,34	0,04	0,47	10,51	0,04	0,00	0,00	0,00	95,46
CDC029-C4-10	I-b	47,02	0,01	36,48	0,73	0,00	0,36	0,01	0,52	10,38	0,06	0,00	0,00	0,00	95,56
CDC029-C4-11	I-b	46,96	0,04	36,17	0,75	0,01	0,38	0,00	0,76	10,58	0,03	0,00	0,04	0,03	95,73
CDC029-C4-12	I-b	46,18	0,05	36,23	0,64	0,01	0,33	0,02	0,42	10,74	0,03	0,00	0,00	0,03	94,67
CDC029-C4-13	I-b	46,37	0,02	36,38	0,68	0,00	0,36	0,00	0,47	10,74	0,00	0,00	0,01	0,00	95,02
CDC029-C4-14	I-b	46,67	0,03	36,96	0,46	0,01	0,21	0,00	0,40	10,99	0,04	0,21	0,00	0,00	95,97
CDC029-C5-01	I-b	46,25	0,14	35,71	0,70	0,00	0,33	0,00	0,59	10,25	0,05	0,00	0,00	0,00	94,01
CDC029-C5-02	I-b	46,63	0,17	35,96	0,91	0,00	0,38	0,00	0,51	10,86	0,02	0,08	0,00	0,00	95,52
CDC029-C5-03	I-b	46,40	0,03	36,48	0,56	0,00	0,20	0,00	0,45	11,12	0,03	0,00	0,00	0,00	95,27
CDC029-C5-04	I-b	46,59	0,22	35,60	0,55	0,02	0,27	0,00	0,38	11,05	0,07	0,18	0,02	0,03	94,98
CDC029-C5-05	I-b	46,68	0,11	36,33	0,56	0,01	0,29	0,00	0,32	10,95	0,04	0,03	0,00	0,00	95,31
CDC029-C5-06	I-b	46,70	0,30	35,90	0,65	0,06	0,32	0,00	0,42	11,00	0,04	0,08	0,00	0,02	95,49

CDC029-C5-07	I-b	47,20	0,30	36,04	0,65	0,03	0,31	0,00	0,34	10,87	0,08	0,03	0,04	0,02	95,90
CDC029-C5-08	I-b	46,99	0,22	35,99	0,45	0,01	0,59	0,02	0,28	9,59	0,05	0,08	0,06	0,00	94,33
CDC029-C5-09	I-b	46,85	0,03	36,52	0,76	0,03	0,35	0,03	0,43	10,57	0,04	0,23	0,00	0,01	95,85
CDC029-C5-10	I-b	46,36	0,03	36,74	0,52	0,00	0,26	0,00	0,35	10,73	0,01	0,10	0,00	0,00	95,09
CDC045b-C1-01	III	46,39	0,06	36,03	0,71	0,00	0,26	0,00	0,71	9,91	0,05	0,33	0,00	0,00	94,69
CDC045b-C1-02	III	45,88	0,07	35,56	0,86	0,03	0,33	0,01	0,75	9,19	0,23	0,30	0,00	0,00	93,38
CDC045b-C1-03	III	45,94	0,08	35,99	0,86	0,01	0,23	0,00	0,54	10,53	0,24	0,35	0,00	0,02	95,02
CDC045b-C1-04	III	46,31	0,05	35,83	0,97	0,02	0,22	0,04	0,61	10,34	0,07	0,15	0,00	0,00	94,84
CDC045b-C2-01	III	46,12	0,03	36,15	0,83	0,00	0,24	0,00	0,53	10,61	0,08	0,60	0,00	0,00	95,44
CDC045b-C2-02	III	45,65	0,01	36,13	0,76	0,03	0,17	0,05	0,62	10,21	0,06	0,33	0,00	0,05	94,23
CDC045b-C2-03	III	46,06	0,06	36,06	0,76	0,02	0,20	0,01	0,67	10,39	0,09	0,45	0,00	0,01	95,09
CDC045b-C2-04	III	46,29	0,01	35,97	0,86	0,00	0,23	0,00	0,67	10,03	0,08	0,75	0,00	0,06	95,07
CDC045b-C2-05	III	46,38	0,05	35,33	0,87	0,10	0,26	0,02	0,43	10,63	0,03	0,25	0,01	0,03	94,60
CDC045b-C2-06	III	46,23	0,01	35,50	0,87	0,07	0,28	0,00	0,41	10,50	0,08	0,53	0,00	0,00	94,66
CDC045b-C2-07	III	46,08	0,04	35,93	0,84	0,00	0,21	0,02	0,53	10,71	0,06	0,38	0,01	0,08	95,11
CDC045b-C2-08	III	45,92	0,04	35,23	0,80	0,00	0,24	0,00	0,49	10,52	0,09	0,53	0,00	0,02	94,05
CDC045b-C3-01	III	46,65	0,09	35,89	0,83	0,04	0,28	0,00	0,92	10,22	0,18	0,28	0,00	0,03	95,52
CDC045b-C3-02	III	46,45	0,08	35,59	1,09	0,05	0,36	0,00	0,83	9,99	0,14	0,55	0,03	0,04	95,32
CDC045b-C3-03	III	46,25	0,08	35,62	0,90	0,02	0,33	0,00	0,74	10,43	0,11	0,25	0,00	0,10	95,05
CDC045b-C3-04	III	46,61	0,02	35,39	1,00	0,04	0,35	0,00	0,41	10,42	0,03	0,10	0,00	0,00	94,57
CDC045b-C4-01	III	45,75	0,02	36,04	0,82	0,00	0,24	0,00	0,33	10,64	0,11	0,45	0,00	0,03	94,59
CDC045b-C4-02	III	46,35	0,04	36,11	0,87	0,03	0,26	0,00	0,51	10,53	0,02	0,23	0,00	0,00	95,11
CDC045b-C4-03	III	45,95	0,07	35,87	0,94	0,06	0,29	0,00	0,76	10,10	0,19	0,30	0,00	0,00	94,81
CDC045b-C4-04	III	47,07	0,05	36,19	0,88	0,01	0,30	0,00	0,43	9,76	0,05	0,67	0,00	0,00	95,56
CDC045-C1-01	III	46,50	0,02	36,52	0,82	0,03	0,17	0,00	0,43	10,83	0,03	0,46	0,00	0,00	95,93
CDC045-C1-04	III	45,74	0,02	35,85	0,84	0,00	0,16	0,00	0,24	11,02	0,06	0,23	0,00	0,07	94,34
CDC045-C1-05	III	47,17	0,05	35,46	1,04	0,00	0,33	0,01	0,23	10,92	0,05	0,71	0,00	0,00	96,20
CDC045-C1-06	III	46,05	0,02	35,08	1,26	0,00	0,30	0,00	0,25	11,01	0,14	0,61	0,00	0,01	94,83
CDC045-C2-02	III	45,91	0,07	36,56	0,69	0,03	0,13	0,03	0,64	10,56	0,01	0,40	0,00	0,00	95,20
CDC045-C2-03	III	45,62	0,03	35,76	0,93	0,00	0,23	0,00	0,54	10,45	0,07	0,28	0,00	0,02	94,08
CDC045-C2-04	III	45,51	0,06	35,67	0,84	0,00	0,28	0,00	0,48	10,55	0,08	0,63	0,00	0,00	94,26
CDC045-C2-05	III	45,52	0,06	36,12	0,88	0,01	0,21	0,00	0,83	10,16	0,06	0,33	0,00	0,01	94,36
CDC045-C2-06	III	45,60	0,07	36,45	0,83	0,06	0,16	0,00	0,64	10,54	0,07	0,15	0,00	0,04	94,78
CDC045-C2-07	III	45,34	0,08	35,98	0,81	0,04	0,19	0,00	0,70	10,30	0,07	0,70	0,00	0,00	94,34
CDC045-C2-08	III	45,53	0,08	36,24	0,83	0,04	0,19	0,00	0,56	10,49	0,07	0,25	0,00	0,04	94,56
CDC045-C2-09	III	46,35	0,07	36,55	0,82	0,00	0,18	0,03	0,47	10,09	0,11	0,25	0,00	0,02	95,10
CDC045-C2-10	III	46,23	0,05	36,12	0,83	0,06	0,20	0,01	0,52	10,41	0,06	0,35	0,00	0,00	95,11
CDC045-C2-11	III	46,13	0,04	36,13	0,96	0,02	0,18	0,00	0,59	10,26	0,03	0,33	0,00	0,00	94,91
CDC045-C2-12	III	46,80	0,07	36,51	0,92	0,06	0,20	0,02	0,32	10,67	0,09	0,43	0,00	0,00	96,33
CDC045-C2-13	III	45,34	0,08	36,43	0,74	0,00	0,18	0,00	0,56	10,32	0,21	0,30	0,00	0,07	94,42
CDC045-C2-14	III	45,70	0,08	36,76	0,74	0,04	0,15	0,00	0,68	10,40	0,26	0,63	0,00	0,00	95,62
CDC045-C2-15	III	46,37	0,07	36,47	0,85	0,04	0,17	0,00	0,52	10,34	0,07	0,30	0,00	0,00	95,50
CDC045-C3-01	III	45,60	0,05	35,91	0,77	0,05	0,21	0,00	0,58	10,65	0,08	0,23	0,00	0,00	94,40
CDC045-C3-02	III	45,21	0,09	35,56	0,81	0,03	0,24	0,03	0,68	10,25	0,09	0,18	0,00	0,00	93,34
CDC045-C3-03	III	45,21	0,07	35,93	0,84	0,00	0,20	0,00	0,56	10,39	0,09	0,18	0,00	0,00	93,61
CDC045-C3-04	III	45,72	0,09	35,69	1,01	0,09	0,25	0,00	0,55	10,60	0,10	0,43	0,00	0,03	94,74
CDC045-C3-05	III	46,01	0,09	35,54	0,90	0,00	0,22	0,00	0,48	10,87	0,03	0,30	0,00	0,00	94,61
CDC045-C3-06	III	45,98	0,07	36,21	0,92	0,00	0,21	0,04	0,66	10,58	0,16	0,15	0,05	0,00	95,24
CDC046-C1-01	III	47,65	0,05	35,24	1,24	0,00	0,40	0,00	0,33	10,75	0,00	0,50	0,00	0,00	96,22
CDC046-C1-02	III	45,08	0,03	35,62	0,71	0,01	0,28	0,02	0,64	9,78	0,10	0,03	0,00	0,02	92,40
CDC046-C1-03	III	47,27	0,04	35,31	1,29	0,00	0,55	0,01	0,77	9,62	0,09	0,57	0,00	0,00	95,57
CDC046-C1-04	III	46,44	0,02	36,09	0,75	0,06	0,31	0,02	0,64	10,18	0,03	0,23	0,00	0,02	94,80
CDC046-C1-05	III	47,69	0,05	35,64	1,07	0,04	0,51	0,03	0,85	9,67	0,09	0,28	0,00	0,11	96,13
CDC046-C1-06	III	46,10	0,00	36,08	0,78	0,05	0,26	0,01	0,82	9,98	0,03	0,40	0,00	0,07	94,72
CDC046-C1-07	III	46,23	0,03	35,78	0,80	0,02	0,25	0,05	0,50	10,12	0,09	0,33	0,00	0,00	94,36
CDC046-C2-01	III	47,09	0,05	35,59	1,05	0,00	0,34	0,00	0,31	10,76	0,04	0,72	0,02	0,06	96,16
CDC046-C2-02	III	47,48	0,02	36,35	0,92	0,03	0,36	0,02	0,63	10,06	0,06	0,67	0,00	0,00	96,79
CDC046-C2-03	III	46,46	0,02	35,81	0,82	0,07	0,28	0,05	0,82	10,25	0,05	0,33	0,02	0,03	95,10
CDC046-C2-04	III	47,24	0,01	35,07	1,35	0,00	0,47	0,01	0,29	10,84	0,05	0,35	0,00	0,05	95,87
CDC046-C2-05	III	46,73	0,06	35,71	0,93	0,00	0,39	0,00	0,78	9,92	0,11	0,53	0,00	0,00	95,26
CDC046-C2-06	III	46,91	0,06	34,83	1,12	0,04	0,46	0,00	0,69	10,35	0,03	0,57	0,00	0,00	95,23
CDC046-C2-07	III	46,22	0,02	36,24	0,82	0,01	0,27	0,03	0,38	10,59	0,09	0,33	0,00	0,00	95,17
CDC046-C2-08	III	46,31	0,02	35,97	0,73	0,02	0,35	0,00	0,51	10,25	0,10	0,10	0,00	0,00	94,59
CDC046-C3-01	III	47,37	0,06	36,55	0,88	0,00	0,37	0,00	0,39	10,66	0,06	0,18	0,04	0,00	96,74
CDC046-C3-02	III	46,56	0,09	36,17	0,98	0,02	0,40	0,04	0,75	9,75	0,15	0,40	0,00	0,03	95,54
CDC046-C3-03	III	47,72	0,08	35,48	0,99	0,01	0,42	0,03	0,83	9,78	0,05	0,13	0,00	0,01	95,68
CDC046-C3-04	III	47,09	0,03	36,34	0,93	0,00	0,27	0,00	0,60	10,15	0,02	0,33	0,00	0,00	95,84
CDC046-C4-01	III	46,64	0,04	35,07	0,96	0,00	0,41	0,00	0,23	10,84	0,08	0,03	0,00	0,00	94,47
CDC046-C4-02	III	46,79	0,02	35,47	0,85	0,04	0,33	0,01	0,58	10,37	0,05	0,38	0,00	0,00	94,93
CDC046-C4-03	III	46,96	0,04	35,44	1,15	0,00	0,53	0,00	0,81	10,08	0,04	0,32	0,00	0,05	95,64
CDC046-C4-04	III	47,54	0,02	35,13	1,09	0,02	0,50	0,00	0,79	9,98	0,03	0,32	0,00	0,03	95,61
CDC046-C4-05	III	46,67	0,01	36,68	0,76	0,00	0,22	0,02	0,52	10,27	0,07	0,28	0,00	0,00	95,54
CDC046-C4-06	III	46,33	0,03	36,35	0,80	0,00	0,28	0,00	0,41	10,82	0,03	0,03	0,00	0,02	95,13
CDC046-C5-01	III	48,23	0,00	33,36	2,14	0,07	0,63	0,00	0,24	10,75	0,09	0,52	0,00	0,03	96,05
CDC046-C5-02	III	47,32	0,00	36,88	0,52	0,02	0,18	0,00	0,24	10,67	0,01	0,20	0,00	0,00	96,09
CDC046-C5-03	III	47,45	0,00	32,62	2,58	0,03	0,45	0,06	0,21	10,46	0,05	0,35	0,00	0,03	94,41
CDC048-C1-01	III	44,28	0,05	35,68	1,17	0,02	0,10	0,10	0,53	10,44	0,02	0,63	0,00	0,00	93,08

CDC048-C1-02	III	45,29	0,08	36,22	1,00	0,00	0,08	0,05	0,71	10,12	0,03	0,58	0,00	0,00	94,32
CDC048-C1-03	III	45,16	0,01	36,11	1,02	0,01	0,09	0,10	0,67	9,98	0,03	0,23	0,00	0,07	93,71
CDC048-C1-04	III	45,34	0,02	36,45	1,01	0,06	0,06	0,13	0,50	10,52	0,08	0,35	0,00	0,00	94,76
CDC048-C1-05	III	46,50	0,02	36,33	1,07	0,00	0,12	0,00	0,52	10,30	0,06	0,61	0,07	0,05	95,89
CDC048-C1-06	III	44,99	0,02	35,54	1,09	0,00	0,10	0,00	0,53	10,19	0,06	0,43	0,00	0,03	93,29
CDC048-C2-01	III	45,88	0,02	35,91	1,15	0,04	0,10	0,00	0,44	10,40	0,06	0,68	0,00	0,05	94,85
CDC048-C2-02	III	45,64	0,03	36,50	0,91	0,00	0,09	0,00	0,34	10,55	0,03	0,63	0,00	0,07	95,04
CDC048-C2-03	III	45,37	0,02	36,73	0,96	0,00	0,06	0,00	0,62	9,90	0,01	0,28	0,00	0,00	94,23
CDC048-C2-04	III	45,48	0,00	36,59	0,75	0,02	0,04	0,00	0,73	9,84	0,08	0,71	0,00	0,01	94,54
CDC048-C2-05	III	46,62	0,00	37,64	0,87	0,01	0,07	0,00	0,80	10,14	0,05	0,71	0,00	0,02	97,18
CDC048-C2-06	III	45,92	0,03	36,64	0,93	0,02	0,08	0,00	0,66	9,66	0,03	1,08	0,00	0,08	95,40
CDC048-C2-07	III	46,35	0,02	36,90	0,90	0,01	0,07	0,06	0,82	9,87	0,06	0,73	0,00	0,00	96,06
CDC048-C2-08	III	45,97	0,03	36,00	1,52	0,05	0,12	0,00	0,75	9,59	0,00	0,85	0,00	0,05	95,28
CDC048-C3-01	III	46,66	0,01	35,65	1,43	0,04	0,16	0,00	0,26	11,00	0,01	0,48	0,00	0,00	95,78
CDC048-C3-02	III	46,06	0,05	36,46	1,18	0,06	0,09	0,00	0,30	10,62	0,05	0,93	0,00	0,03	95,84
CDC048-C3-03	III	45,36	0,03	35,44	1,68	0,02	0,11	0,00	0,25	10,94	0,04	0,20	0,00	0,06	94,25
CDC048-C3-04	III	45,61	0,00	35,43	1,89	0,00	0,13	0,00	0,27	10,71	0,02	0,33	0,00	0,00	94,49
CDC048-C5-01	III	45,85	0,16	35,99	1,09	0,03	0,13	0,00	0,46	10,82	0,03	0,58	0,00	0,01	95,29
CDC048-C5-02	III	45,59	0,18	35,11	1,36	0,04	0,18	0,05	0,47	10,07	0,02	0,73	0,12	0,00	94,08
CDC048-C5-03	III	46,88	0,20	35,86	1,20	0,03	0,24	0,00	0,47	9,89	0,00	0,63	0,00	0,03	95,64
CDC048-C5-04	III	45,58	0,03	36,27	0,98	0,05	0,12	0,00	0,51	10,11	0,04	0,51	0,00	0,00	94,53
CDC048-C5-05	III	46,26	0,12	36,12	1,17	0,02	0,15	0,03	0,48	10,33	0,13	0,53	0,01	0,00	95,44
CDC048-C5-06	III	46,27	0,13	36,03	1,13	0,00	0,19	0,00	0,45	10,75	0,06	0,73	0,00	0,00	95,93
CDC048-C5-07	III	46,14	0,20	35,42	1,38	0,02	0,25	0,00	0,43	10,28	0,00	0,93	0,00	0,00	95,28
CDC048-C5-08	III	46,36	0,11	36,77	1,07	0,00	0,15	0,04	0,38	10,63	0,00	0,46	0,00	0,07	96,18
CDC051-C3-03	II	47,58	0,01	32,41	2,03	0,09	1,15	0,00	0,20	11,03	0,00	0,25	0,00	0,00	94,87
CDC051-C3-04	II	49,01	0,09	30,74	2,45	0,07	1,56	0,02	0,14	11,09	0,02	0,05	0,03	0,00	95,27
CDC054-C2-01	II	46,15	0,04	35,57	1,33	0,03	0,15	0,01	0,60	10,42	0,09	0,00	0,02	0,03	94,45
CDC054-C2-02	II	46,36	0,02	35,98	1,04	0,02	0,14	0,00	0,56	10,49	0,02	0,05	0,00	0,01	94,69
CDC054-C2-03	II	46,39	0,04	36,18	1,06	0,00	0,15	0,00	0,75	10,40	0,05	0,00	0,00	0,00	95,02
CDC054-C2-04	II	46,74	0,02	35,09	1,41	0,02	0,11	0,00	0,92	9,80	0,05	0,00	0,00	0,00	94,21
CDC054-C2-05	II	46,15	0,01	36,04	1,35	0,02	0,12	0,04	0,79	9,93	0,13	0,00	0,00	0,00	94,58
CDC054-C2-06	II	46,76	0,02	35,63	1,13	0,01	0,20	0,00	0,72	10,41	0,06	0,20	0,00	0,00	95,15
CDC054-C3-01	II	45,79	0,03	35,74	1,04	0,07	0,14	0,00	0,67	10,20	0,07	0,20	0,00	0,00	93,98
CDC054-C3-02	II	45,74	0,04	35,62	0,88	0,04	0,16	0,00	0,79	9,73	0,08	0,25	0,00	0,00	93,35
CDC054-C3-03	II	46,39	0,04	36,23	1,04	0,08	0,12	0,01	0,76	10,10	0,05	0,05	0,00	0,00	94,92
CDC054-C3-04	II	46,18	0,03	35,61	1,21	0,04	0,09	0,03	0,76	10,17	0,10	0,10	0,00	0,00	94,37
CDC054-C4-01	II	47,19	0,03	36,82	1,11	0,00	0,14	0,08	0,91	10,05	0,10	0,15	0,00	0,00	96,71
CDC054-C4-02	II	46,76	0,07	37,14	0,91	0,00	0,10	0,00	0,92	9,94	0,05	0,15	0,00	0,04	96,11
CDC055-C1-01	II	46,42	0,06	35,79	0,97	0,00	0,12	0,00	0,46	10,19		0,10	0,04	0,00	94,14
CDC055-C1-02	II	46,41	0,06	35,46	1,09	0,06	0,18	0,00	0,58	9,71		0,00	0,01	0,08	93,64
CDC055-C1-03	II	46,41	0,04	34,83	1,39	0,08	0,23	0,06	0,56	9,79		0,20	0,00	0,01	93,61
CDC055-C2-01	II	48,43	0,04	36,42	1,24	0,03	0,18	0,00	0,31	10,42		0,00	0,00	0,00	97,06
CDC055-C2-02	II	48,20	0,05	36,89	1,15	0,02	0,15	0,02	0,41	10,41		0,24	0,00	0,00	97,53
CDC055-C2-03	II	46,00	0,07	35,44	1,04	0,03	0,13	0,00	0,59	9,92		0,00	0,00	0,08	93,30
CDC055-C2-04	II	46,47	0,02	35,89	1,04	0,09	0,14	0,02	0,56	9,97		0,54	0,00	0,02	94,78
CDC055-C2-05	II	46,64	0,04	35,38	1,15	0,00	0,17	0,02	0,54	9,74		0,29	0,03	0,00	94,01
CDC055-C2-06	II	46,35	0,03	35,26	1,18	0,03	0,11	0,01	0,42	10,32		0,00	0,05	0,03	93,78
CDC055-C3-01	II	47,24	0,06	35,28	1,58	0,07	0,17	0,00	0,37	10,04		0,19	0,01	0,10	95,11
CDC055-C3-02	II	46,69	0,03	34,33	1,32	0,01	0,17	0,03	0,31	9,30		0,00	0,00	0,00	92,18
CDC055-C3-03	II	46,68	0,05	35,29	1,30	0,00	0,15	0,00	0,52	9,65		0,00	0,01	0,00	93,65
CDC055-C3-04	II	48,21	0,04	34,99	1,59	0,04	0,20	0,00	0,49	9,84		0,15	0,00	0,01	95,55
CDC055-C4-01	II	46,69	0,06	36,61	1,01	0,00	0,14	0,00	0,37	9,63		0,00	0,00	0,02	94,52
CDC055-C4-02	II	47,06	0,05	34,60	2,46	0,09	0,39	0,00	0,11	10,59		0,00	0,00	0,00	95,35
CDC055-C4-03	II	47,53	0,05	34,98	1,55	0,05	0,23	0,00	0,34	9,18		0,00	0,00	0,01	93,91
CDC055-C4-04	II	47,53	0,05	35,21	1,27	0,05	0,23	0,00	0,37	10,25		0,10	0,00	0,00	95,05
CDC055-C5-01	II	46,96	0,04	35,34	1,27	0,00	0,18	0,00	0,35	10,31		0,00	0,00	0,01	94,47
CDC055-C5-02	II	46,92	0,08	35,80	1,09	0,00	0,12	0,01	0,63	9,82		0,00	0,04	0,00	94,51
CDC055-C5-03	II	46,61	0,04	34,96	1,57	0,02	0,25	0,00	0,43	10,01		0,10	0,00	0,05	94,04
CDC055-C5-04	II	47,14	0,03	35,47	1,16	0,05	0,18	0,01	0,61	10,22		0,10	0,00	0,01	94,97
CDC056-C1-01	II	47,03	0,06	36,36	0,93	0,04	0,11	0,00	0,33	10,12	0,06	0,00	0,00	0,04	95,21
CDC056-C1-02	II	46,90	0,04	36,03	0,86	0,00	0,11	0,04	0,53	9,45	0,04	0,34	0,00	0,00	94,63
CDC056-C1-test	II	46,14	0,01	36,40	0,82	0,00	0,07	0,00	0,35	10,13	0,05	0,15	0,00	0,02	94,42
CDC056-C1-test	II	47,04	0,05	35,82	1,10	0,02	0,09	0,00	0,39	10,01		0,15	0,03	0,00	94,71
CDC056-C2-01	II	46,54	0,05	35,87	1,03	0,03	0,15	0,00	0,48	10,16	0,01	0,29	0,00	0,00	94,72
CDC056-C2-02	II	45,95	0,08	36,10	0,92	0,00	0,05	0,03	0,47	10,19	0,05	0,24	0,00	0,03	94,39
CDC056-C2-03	II	46,75	0,04	35,45	1,07	0,01	0,12	0,00	0,59	9,68	0,06	0,05	0,00	0,00	94,08
CDC056-C3-01	II	46,48	0,02	35,60	1,26	0,05	0,13	0,00	0,45	9,85	0,05	0,24	0,00	0,05	94,32
CDC056-C3-02	II	45,87	0,10	35,71	0,99	0,04	0,10	0,00	0,47	9,92	0,01	0,00	0,00	0,10	93,55
CDC056-C3-03	II	46,46	0,04	36,09	0,82	0,00	0,09	0,03	0,26	10,53	0,03	0,34	0,00	0,00	94,95
CDC056-C4-01	II	46,71	0,03	36,07	0,77	0,01	0,07	0,00	0,42	9,69	0,07	0,34	0,01	0,00	94,45
CDC056-C4-02	II	45,78	0,03	36,01	1,14	0,03	0,08	0,00	0,46	9,76	0,05	0,00	0,01	0,00	93,64
CDC056-C4-03	II	46,88	0,04	36,49	0,88	0,00	0,07	0,00	0,31	10,02	0,03	0,00	0,00	0,00	95,06
CDC056-C4-04	II	46,23	0,01	35,88	0,80	0,02	0,12	0,07	0,45	9,83	0,06	0,00	0,00	0,05	93,77
CDC056-C4-05	II	45,58	0,01	35,74	0,92	0,02	0,08	0,00	0,27	10,04	0,04	0,00	0,00	0,00	93,00
CDC057-C1-03	II	46,87	0,00	34,07	1,74	0,01	0,50	0,08	0,14	10,27		0,34	0,00	0,00	94,02
CDC057-C1-04	II	46,80	0,00	33,71	1,88	0,00	0,42	0,00	0,18	10,57		0,00	0,00	0,00	93,56

CDC057-C1-05	II	46,62	0,01	33,95	1,76	0,05	0,46	0,00	0,19	10,73		0,00	0,00	0,00	93,78
CDC057-C2-01	II	46,88	0,01	35,57	1,19	0,00	0,22	0,00	0,59	9,76		0,48	0,00	0,04	94,73
CDC057-C2-02	II	46,80	0,04	36,16	1,03	0,06	0,23	0,00	0,45	10,44		0,39	0,00	0,00	95,60
CDC057-C2-03	II	46,41	0,02	35,68	1,33	0,00	0,21	0,02	0,47	10,35		0,20	0,01	0,00	94,72
CDC057-C2-04	II	46,47	0,04	36,24	1,02	0,00	0,22	0,00	0,50	10,09		0,00	0,00	0,03	94,62
CDC057-C3-01	II	46,94	0,05	33,04	2,25	0,04	0,54	0,00	0,16	10,98		0,19	0,03	0,00	94,22
CDC057-C3-02	II	46,35	0,02	35,02	1,52	0,08	0,20	0,01	0,16	10,84		0,20	0,01	0,01	94,42
CDC057-C3-03	II	46,48	0,02	35,97	1,13	0,01	0,19	0,00	0,64	9,82		0,10	0,00	0,03	94,39
CDC057-C3-04	II	46,47	0,03	35,92	1,16	0,00	0,14	0,00	0,53	9,71		0,00	0,00	0,06	94,01
CDC057-C4-01	II	47,29	0,02	33,18	2,13	0,05	0,52	0,00	0,16	10,40		0,14	0,00	0,07	93,96
CDC057-C4-02	II	46,74	0,00	34,08	1,68	0,02	0,34	0,00	0,12	11,16		0,48	0,04	0,05	94,72
CDC057-C4-03	II	47,40	0,00	33,23	2,51	0,01	0,48	0,00	0,17	10,46		0,00	0,00	0,09	94,34
CDC057-C5-01	II	46,23	0,00	33,14	2,15	0,03	0,52	0,01	0,15	10,44		0,19	0,00	0,08	92,97
CDC057-C5-02	II	47,37	0,00	33,48	2,25	0,00	0,49	0,00	0,09	10,62		0,00	0,00	0,00	94,34
CDC057-C5-03	II	46,39	0,00	35,20	1,26	0,00	0,18	0,01	0,16	10,65		0,00	0,00	0,01	93,85
CDC058-C1-01	II	46,35	0,03	36,29	1,02	0,00	0,15	0,00	0,75	10,00	0,09	0,35	0,00	0,00	95,10
CDC058-C1-02	II	47,33	0,01	34,47	1,76	0,00	0,33	0,05	0,30	10,20	0,11	0,53	0,00	0,04	95,36
CDC058-C1-03	II	45,82	0,01	35,88	1,20	0,06	0,11	0,00	0,66	10,18	0,12	0,10	0,00	0,05	94,39
CDC058-C1-04	II	45,95	0,06	35,91	1,03	0,05	0,10	0,00	0,62	10,50	0,05	0,00	0,00	0,01	94,40
CDC058-C2-01	II	46,35	0,04	36,02	1,04	0,02	0,19	0,17	0,61	10,41	0,47	0,26	0,00	0,08	95,77
CDC058-C2-02	II	46,33	0,07	36,25	1,01	0,05	0,17	0,06	0,62	10,22	0,05	0,28	0,00	0,00	95,22
CDC058-C2-03	II	46,43	0,05	35,70	1,16	0,03	0,09	0,04	0,88	9,74	0,18	0,00	0,00	0,00	94,49
CDC058-C2-04	II	46,73	0,05	35,48	1,33	0,00	0,18	0,00	0,68	9,88	0,05	0,26	0,00	0,03	94,84
CDC058-C2-05	II	46,52	0,03	35,52	1,30	0,01	0,21	0,04	0,71	10,14	0,07	0,23	0,00	0,01	94,98
CDC058-C2-06	II	46,88	0,03	35,35	1,26	0,04	0,16	0,04	0,74	10,05	0,05	0,18	0,00	0,00	94,94
CDC058-C4-01	II	46,16	0,05	36,70	0,81	0,04	0,08	0,00	0,79	10,12	0,04	0,18	0,00	0,00	95,16
CDC058-C4-02	II	47,39	0,04	34,18	2,12	0,00	0,29	0,03	0,19	11,00	0,00	0,66	0,00	0,05	96,02
CDC058-C4-03	II	45,40	0,03	35,80	0,93	0,05	0,09	0,00	0,80	10,44	0,12	0,00	0,00	0,04	93,84
CDC058-C4-04	II	46,00	0,01	35,81	1,08	0,04	0,17	0,00	0,74	10,15	0,05	0,20	0,00	0,04	94,48
CDC058-C4-05	II	45,87	0,05	35,61	1,35	0,04	0,19	0,00	0,29	10,94	0,08	0,00	0,00	0,00	94,65
CDC058-C4-06	II	46,90	0,04	34,89	1,24	0,09	0,23	0,01	0,66	9,98	0,15	0,08	0,02	0,02	94,44
CDC058-C4-07	II	46,34	0,06	36,86	0,82	0,03	0,09	0,00	0,61	10,35	0,04	0,10	0,00	0,09	95,49
CDC058-C4-08	II	46,15	0,02	36,56	0,95	0,02	0,10	0,01	0,65	10,15	0,04	0,38	0,00	0,00	95,12
CDC058-C4-09	II	46,17	0,07	37,03	0,88	0,00	0,13	0,02	0,45	10,70	0,00	0,38	0,00	0,03	95,94
CDC058-C4-10	II	46,44	0,05	36,30	0,90	0,06	0,13	0,06	0,65	10,29	0,10	0,00	0,00	0,11	95,23
CDC058-C4-11	II	46,52	0,03	36,44	0,97	0,04	0,11	0,02	0,94	10,03	0,05	0,21	0,00	0,04	95,45
CDC058-C5-01	II	45,71	0,03	35,67	1,00	0,00	0,12	0,00	0,52	10,56	0,22	0,33	0,00	0,03	94,30
CDC058-C5-02	II	45,61	0,10	36,10	0,96	0,00	0,10	0,00	0,71	10,33	0,00	0,00	0,00	0,00	93,97
CDC058-C5-03	II	46,00	0,04	36,41	0,97	0,03	0,14	0,00	0,76	10,14	0,03	0,23	0,00	0,00	94,85
CDC058-C5-04	II	45,74	0,04	35,48	1,15	0,01	0,16	0,05	0,83	10,04	0,08	0,20	0,00	0,03	94,02
CDC058-C5-05	II	46,20	0,08	36,73	0,93	0,07	0,12	0,00	0,56	10,16	0,02	0,21	0,00	0,00	95,16
CDC058-C5-06	II	44,88	0,07	35,61	1,23	0,00	0,11	0,00	0,34	10,92	0,16	0,00	0,02	0,01	93,49
CDC058-C5-07	II	45,13	0,04	35,75	0,87	0,00	0,11	0,03	0,73	10,21	0,10	0,18	0,01	0,00	93,28
CDC058-C5-08	II	45,33	0,04	35,92	1,08	0,00	0,15	0,04	0,74	9,87	0,08	0,05	0,00	0,00	93,42
CDC058-C5-09	II	45,98	0,05	36,38	0,96	0,00	0,15	0,01	0,40	10,56	0,14	0,00	0,00	0,00	94,77
CDC058-C5-10	II	46,80	0,07	35,23	1,69	0,00	0,19	0,00	0,25	10,94	0,03	0,33	0,00	0,01	95,67
CDC058-C5-11	II	45,64	0,04	36,25	0,98	0,00	0,11	0,10	0,42	10,59	0,05	0,15	0,00	0,00	94,45
CDC058-C5-12	II	45,93	0,04	36,27	1,18	0,03	0,16	0,01	0,72	9,94	0,09	0,26	0,00	0,00	94,74
CDC058-C5-13	II	46,20	0,05	35,99	1,00	0,00	0,13	0,06	0,65	10,19	0,10	0,00	0,00	0,00	94,55
CDC060b-C1-01	II	46,76	0,01	36,33	0,92	0,00	0,14	0,03	0,30	10,16	0,04	0,20	0,00	0,00	95,15
CDC060b-C1-02	II	46,80	0,05	36,54	1,17	0,00	0,08	0,03	0,30	10,57	0,02	0,00	0,03	0,00	95,76
CDC060b-C1-03	II	46,98	0,00	36,60	0,82	0,00	0,08	0,00	0,35	10,07	0,03	0,20	0,00	0,03	95,46
CDC060b-C2-01	II	46,77	0,05	36,94	0,92	0,04	0,09	0,02	0,58	9,77	0,05	0,10	0,00	0,00	95,50
CDC060b-C2-02	II	46,42	0,02	36,82	1,06	0,00	0,09	0,00	0,57	9,70	0,05	0,00	0,01	0,04	95,13
CDC060b-C2-03	II	46,44	0,01	35,99	1,18	0,09	0,04	0,06	0,56	10,10	0,05	0,00	0,00	0,08	94,85
CDC060b-C2-04	II	46,03	0,03	36,09	1,13	0,01	0,04	0,00	0,58	9,53	0,05	0,39	0,00	0,00	94,19
CDC060b-C2-05	II	46,97	0,05	37,14	0,78	0,01	0,12	0,06	0,46	9,88	0,05	0,00	0,00	0,09	95,87
CDC060b-C2-06	II	47,42	0,01	36,81	0,96	0,00	0,08	0,05	0,44	9,64	0,04	0,00	0,00	0,00	95,73
CDC060b-C3-01	II	46,28	0,03	35,88	1,13	0,08	0,04	0,01	0,35	10,03	0,05	0,00	0,00	0,00	94,06
CDC060b-C3-02	II	46,72	0,04	36,61	0,94	0,02	0,12	0,04	0,22	10,44	0,04	0,00	0,00	0,00	95,48
CDC060b-C3-03	II	46,24	0,03	36,33	1,06	0,04	0,06	0,03	0,61	9,99	0,03	0,34	0,04	0,00	95,12
CDC060b-C3-04	II	46,08	0,05	36,02	0,89	0,00	0,12	0,08	0,42	9,65	0,07	0,34	0,00	0,01	94,02
CDC060b-C3-05	II	46,43	0,16	34,19	2,20	0,00	0,41	0,01	0,19	10,40	0,00	0,10	0,00	0,00	94,18
CDC060b-C3-06	II	47,06	0,03	36,43	1,33	0,05	0,05	0,04	0,53	9,79	0,06	0,39	0,00	0,03	96,06
CDC060b-C4-01	II	48,09	0,03	34,78	1,66	0,00	0,55	0,00	0,20	10,77	0,02	0,00	0,00	0,06	96,27
CDC060b-C4-02	II	48,39	0,11	34,02	2,20	0,00	0,48	0,00	0,18	11,04	0,01	0,05	0,00	0,04	96,64
CDC060b-C4-03	II	47,54	0,00	35,11	1,48	0,03	0,36	0,01	0,21	10,51	0,02	0,10	0,02	0,09	95,58
CDC060b-C4-04	II	48,15	0,02	35,26	1,59	0,00	0,35	0,00	0,23	10,87	0,01	0,34	0,02	0,00	96,97
CDC060b-C4-05	II	46,90	0,03	35,55	1,38	0,02	0,31	0,00	0,20	10,52	0,03	0,20	0,01	0,05	95,31
CDC061-C1-01	II	45,99	0,05	35,47	1,07	0,08	0,10	0,03	0,43	10,56	0,21	0,00	0,00	0,00	94,04
CDC061-C1-02	II	44,97	0,05	35,00	1,11	0,00	0,28	0,00	0,35	10,63	0,08	0,00	0,00	0,04	92,58
CDC061-C1-03	II	45,14	0,06	35,19	1,22	0,04	0,18	0,00	0,48	10,95	0,13	0,00	0,00	0,02	93,55
CDC061-C1-04	II	45,35	0,02	34,61	1,22	0,00	0,23	0,00	0,40	10,53	0,09	0,00	0,00	0,02	92,53
CDC061-C2-01	II	45,46	0,04	35,05	1,03	0,00	0,15	0,02	0,70	9,99	0,07	0,00	0,00	0,03	92,65
CDC061-C2-02	II	46,03	0,04	35,48	0,81	0,02	0,15	0,00	0,62	10,58	0,05	0,30	0,00	0,01	94,22
CDC061-C2-03	II	46,22	0,04	36,02	1,08	0,00	0,19	0,01	0,85	9,88	0,08	0,25	0,00	0,00	94,68
CDC061-C2-04	II	45,45	0,05	36,07	1,08	0,04	0,20	0,00	0,93	10,16	0,14	0,25	0,00	0,00	94,47

CDC061-C3-01	II	46,54	0,03	36,49	1,06	0,00	0,12	0,00	0,45	10,93	0,07	0,05	0,00	0,01	95,86
CDC061-C3-02	II	46,57	0,07	36,57	0,97	0,00	0,15	0,00	0,50	10,62	0,02	0,30	0,00	0,00	95,78
CDC061-C3-03	II	47,06	0,04	34,59	1,57	0,05	0,25	0,01	0,46	9,98	0,12	0,00	0,00	0,00	94,17
CDC061-C3-04	II	46,10	0,05	35,86	1,06	0,02	0,16	0,00	0,47	10,52	0,09	0,15	0,00	0,00	94,48
CDC061-C4-01	II	46,53	0,06	35,73	1,08	0,12	0,14	0,04	0,74	9,91	0,09	0,45	0,00	0,03	94,99
CDC061-C4-02	II	46,76	0,04	36,63	0,87	0,00	0,11	0,00	0,67	10,37	0,05	0,00	0,00	0,00	95,62
CDC061-C4-03	II	46,63	0,04	36,12	1,06	0,00	0,20	0,01	0,70	10,08	0,11	0,20	0,00	0,00	95,25
CDC061-C4-04	II	46,48	0,03	36,17	0,91	0,04	0,14	0,00	0,73	10,29	0,24	0,00	0,00	0,00	95,09
CDC061-C5-01	II	46,13	0,03	36,17	0,95	0,03	0,13	0,00	0,42	10,91	0,00	0,00	0,00	0,00	94,77
CDC061-C5-02	II	45,91	0,07	36,03	0,94	0,00	0,15	0,00	0,58	10,67	0,09	0,00	0,00	0,00	94,45
CDC061-C5-03	II	46,49	0,03	35,68	0,94	0,01	0,17	0,02	0,65	10,39	0,11	0,30	0,00	0,00	94,80
CDC061-C5-04	II	46,71	0,04	35,71	0,98	0,09	0,28	0,00	0,56	10,06	0,12	0,00	0,00	0,00	94,66
CDC061-C5-05	II	45,43	0,07	36,17	0,86	0,01	0,20	0,01	0,72	10,12	0,02	0,10	0,00	0,00	93,79
CDC061-C5-06	II	45,88	0,03	35,52	1,12	0,06	0,16	0,00	0,49	10,27	0,12	0,30	0,00	0,00	93,96
CDC064-C1-01	II	46,50	0,04	35,23	1,39	0,10	0,08	0,00	0,39	10,62	0,06	1,00	0,01	0,00	95,64
CDC064-C1-06	II	46,69	0,00	36,38	1,13	0,04	0,05	0,02	0,55	10,00	0,61	0,00	0,00	0,00	95,71
CDC064-C2-01	II	46,03	0,02	35,41	1,46	0,05	0,09	0,04	0,66	9,72	0,09	0,61	0,00	0,00	94,45
CDC064-C2-02	II	46,20	0,04	37,03	1,11	0,00	0,03	0,00	0,60	10,17	0,03	0,33	0,00	0,02	95,73
CDC064-C2-03	II	46,99	0,02	35,52	1,69	0,04	0,10	0,00	0,78	10,01	0,03	0,33	0,00	0,05	95,81
CDC064-C2-04	II	46,70	0,03	35,94	1,39	0,00	0,06	0,00	0,83	9,81	0,05	0,38	0,00	0,00	95,47
CDC064-C3-01	II	46,58	0,03	36,21	1,20	0,00	0,11	0,00	0,54	10,35	0,08	0,05	0,01	0,03	95,38
CDC064-C3-02	II	47,16	0,01	36,53	1,30	0,08	0,07	0,08	0,42	10,56	0,06	0,36	0,00	0,04	96,87
CDC064-C3-03	II	46,50	0,04	36,68	1,30	0,00	0,01	0,00	0,50	10,55	0,04	0,10	0,00	0,00	96,01
CDC064-C3-04	II	46,99	0,01	36,54	1,26	0,04	0,05	0,00	0,65	10,15	0,01	0,66	0,00	0,00	96,65
CDC071-C1-01	IV	46,30	0,00	37,40	0,32	0,00	0,00	0,01	0,40	10,39	0,00	0,50	0,00	0,00	95,81
CDC071-C1-02	IV	45,48	0,06	35,88	1,10	0,06	0,20	0,01	0,28	10,61	0,02	0,28	0,00	0,04	94,41
CDC071-C1-03	IV	46,46	0,01	36,61	0,71	0,00	0,05	0,00	0,22	11,10	0,01	0,40	0,11	0,00	95,99
CDC071-C1-04	IV	46,10	0,00	37,31	0,58	0,00	0,01	0,04	0,23	10,85	0,05	0,00	0,00	0,11	95,68
CDC071-C1-05	IV	47,10	0,00	36,40	0,92	0,04	0,15	0,03	0,21	10,93	0,04	0,43	0,02	0,00	96,54
CDC071-C1-06	IV	46,68	0,02	36,25	0,78	0,04	0,23	0,00	0,27	10,78	0,08	0,23	0,01	0,00	95,59
CDC071-C1-07	IV	46,85	0,00	35,66	1,12	0,02	0,20	0,00	0,24	10,55	0,03	0,18	0,04	0,00	95,17
CDC071-C2-01	IV	46,81	0,06	35,48	1,59	0,00	0,37	0,03	0,25	10,56	0,03	0,03	0,00	0,04	95,86
CDC071-C2-02	IV	45,92	0,05	36,00	1,01	0,00	0,25	0,00	0,40	10,26	0,05	0,30	0,00	0,02	94,72
CDC071-C2-03	IV	46,76	0,00	35,61	1,20	0,00	0,17	0,00	0,19	10,78	0,00	0,58	0,00	0,03	95,61
CDC071-C2-04	IV	45,69	0,08	35,99	1,02	0,00	0,31	0,00	0,41	10,25	0,01	0,28	0,00	0,00	94,50
CDC071-C2-05	IV	45,67	0,05	36,34	0,91	0,00	0,19	0,00	0,39	10,65	0,00	0,53	0,00	0,00	95,20
CDC071-C2-06	IV	46,56	0,04	36,58	0,84	0,01	0,22	0,03	0,33	10,58	0,01	0,35	0,00	0,00	96,05
CDC071-C3-01	IV	46,24	0,01	35,67	1,04	0,00	0,16	0,00	0,26	10,50	0,04	0,13	0,03	0,00	94,26
CDC071-C3-02	IV	47,33	0,00	35,16	1,28	0,05	0,07	0,01	0,25	10,32	0,06	0,35	0,00	0,00	94,90
CDC071-C3-03	IV	47,59	0,00	34,63	1,81	0,01	0,10	0,01	0,20	10,35	0,13	0,00	0,00	0,00	94,91
CDC071-C3-04	IV	47,60	0,00	34,16	2,03	0,09	0,15	0,00	0,19	10,57	0,16	0,65	0,00	0,00	95,70
CDC071-C4-01	IV	45,44	0,11	35,71	1,07	0,01	0,26	0,00	0,54	10,07	0,02	0,45	0,00	0,00	94,19
CDC071-C4-02	IV	45,46	0,03	36,43	1,05	0,02	0,11	0,00	0,55	10,04	0,05	0,30	0,00	0,00	94,51
CDC071-C4-03	IV	45,19	0,06	36,65	0,83	0,05	0,15	0,00	0,52	10,49	0,03	0,35	0,00	0,00	94,85
CDC071-C4-04	IV	46,57	0,04	36,42	0,71	0,05	0,18	0,02	0,32	10,85	0,00	0,33	0,00	0,00	95,63
CDC071-C4-05	IV	46,44	0,00	36,07	0,92	0,02	0,17	0,00	0,25	10,53	0,08	0,56	0,00	0,03	95,29
CDC071-C5-01	IV	45,98	0,04	36,65	0,85	0,00	0,25	0,01	0,34	10,35	0,04	0,08	0,00	0,00	94,95
CDC071-C5-02	IV	45,92	0,07	36,39	0,87	0,00	0,21	0,00	0,37	10,58	0,00	0,40	0,00	0,00	95,27
CDC074-C1-01	IV	47,94	0,03	33,74	1,41	0,00	1,09	0,04	0,37	10,46	0,01	0,33	0,05	0,00	95,47
CDC074-C1-02	IV	46,32	0,01	36,75	0,90	0,03	0,15	0,03	0,51	10,35	0,09	0,00	0,00	0,00	95,67
CDC074-C1-03	IV	45,79	0,05	37,03	0,99	0,10	0,11	0,00	0,71	10,14	0,05	0,03	0,00	0,00	95,72
CDC074-C1-04	IV	44,95	0,01	36,35	0,93	0,04	0,04	0,00	0,64	9,73	0,06	0,13	0,00	0,00	93,48
CDC074-C3-01	IV	47,96	0,04	33,89	1,36	0,01	1,28	0,04	0,42	10,62	0,01	0,20	0,09	0,00	95,97
CDC074-C3-02	IV	47,90	0,02	32,16	1,42	0,00	1,46	0,02	0,29	9,33	0,00	0,55	0,09	0,01	93,25
CDC074-C3-03	IV	47,18	0,03	34,87	0,92	0,04	0,84	0,00	0,61	10,18	0,04	0,35	0,14	0,00	95,22
CDC074-C3-04	IV	48,65	0,07	32,81	1,36	0,03	1,31	0,08	0,28	10,14	0,02	0,10	0,08	0,03	94,94
CDC074-C4-01	IV	45,60	0,01	36,06	0,96	0,06	0,19	0,00	0,57	10,27	0,04	0,00	0,00	0,00	94,34
CDC074-C4-02	IV	46,08	0,01	36,34	0,90	0,00	0,15	0,04	0,65	10,12	0,02	0,38	0,00	0,00	95,29
CDC074-C5-01	IV	45,69	0,03	36,63	0,77	0,09	0,11	0,00	0,56	10,68	0,02	0,40	0,00	0,00	95,51
CDC074-C5-02	IV	45,44	0,01	36,63	0,63	0,00	0,09	0,00	0,43	10,36	0,03	0,00	0,00	0,00	94,28
CDC075-C1-01	IV	45,39	0,06	36,46	0,64	0,04	0,24	0,00	0,81	9,87	0,10	0,53	0,00	0,00	94,63
CDC075-C1-02	IV	45,83	0,07	36,99	0,67	0,00	0,10	0,01	0,92	9,78	0,22	0,53	0,00	0,05	95,55
CDC075-C1-03	IV	45,81	0,04	36,81	0,73	0,00	0,12	0,00	0,84	10,01	0,15	0,33	0,00	0,03	95,26
CDC075-C1-04	IV	45,67	0,10	36,20	0,76	0,04	0,26	0,00	0,93	9,98	0,03	0,63	0,00	0,03	94,91
CDC075-C1-05	IV	45,38	0,10	36,61	0,68	0,00	0,15	0,07	0,69	10,13	0,14	1,18	0,00	0,00	95,43
CDC075-C1-06	IV	45,29	0,06	36,76	0,57	0,01	0,09	0,01	0,79	9,70	0,25	1,03	0,00	0,03	94,82
CDC075-C2-01	IV	46,33	0,07	36,73	0,66	0,06	0,20	0,00	0,72	9,76	0,08	0,71	0,01	0,00	95,72
CDC075-C2-02	IV	45,01	0,05	36,69	0,71	0,06	0,14	0,00	0,55	10,36	0,19	0,63	0,00	0,00	94,79
CDC075-C2-03	IV	45,87	0,05	37,11	0,90	0,00	0,04	0,02	0,86	9,91	0,29	0,58	0,00	0,00	95,92
CDC075-C2-04	IV	46,27	0,08	36,21	0,86	0,00	0,21	0,00	0,97	9,95	0,10	0,45	0,00	0,00	95,42
CDC075-C2-05	IV	46,04	0,03	35,28	1,15	0,00	0,25	0,14	0,32	10,93	0,21	0,61	0,03	0,03	95,31
CDC075-C2-06	IV	46,82	0,04	35,50	1,08	0,02	0,20	0,03	0,37	10,91	0,01	0,73	0,11	0,03	96,05
CDC075-C3-01	IV	46,94	0,05	36,16	1,04	0,04	0,28	0,00	0,29	10,73	0,00	0,66	0,00	0,00	96,42
CDC075-C3-02	IV	46,57	0,03	35,60	1,13	0,00	0,26	0,00	0,23	10,87	0,03	0,63	0,00	0,00	95,74
CDC075-C3-03	IV	45,28	0,08	35,33	0,75	0,00	0,22	0,00	0,22	10,44	0,06	0,31	0,00	0,05	92,99
CDC075-C5-01	IV	46,40	0,04	36,02	0,67	0,02	0,26	0,00	0,40	10,57	0,05	1,03	0,03	0,01	95,79
CDC075-C5-02	IV	45,88	0,05	37,29	0,40	0,02	0,13	0,02	0,38	10,70	0,15	0,58	0,05	0,01	95,98

CDC075-C5-03	IV	47,17	0,05	33,96	1,79	0,06	0,50	0,00	0,27	10,69	0,06	1,50	0,00	0,01	96,48
CDC075-C6-01	IV	46,09	0,05	35,46	0,87	0,09	0,30	0,00	0,25	11,21	0,00	1,01	0,00	0,00	95,51
CDC075-C6-02	IV	46,45	0,03	35,24	1,33	0,00	0,33	0,04	0,30	10,33	0,08	1,38	0,00	0,05	95,85
CDC078-C1-01	IV	45,09	0,03	36,70	0,49	0,00	0,02	0,07	0,69	9,86	0,02	0,10	0,00	0,00	93,27
CDC078-C1-02	IV	46,10	0,03	36,05	0,57	0,00	0,21	0,00	0,48	9,79	0,05	0,20	0,02	0,00	93,50
CDC078-C1-03	IV	46,10	0,03	37,12	0,35	0,00	0,00	0,00	0,64	10,26	0,04	0,00	0,00	0,00	94,69
CDC078-C1-04	IV	45,81	0,01	36,86	0,33	0,04	0,02	0,00	0,65	9,72	0,03	0,00	0,00	0,00	93,58
CDC078-C1-05	IV	46,03	0,03	36,97	0,51	0,01	0,03	0,00	0,82	9,70	0,03	0,10	0,00	0,00	94,37
CDC078-C1-06	IV	45,87	0,01	36,98	0,45	0,04	0,02	0,05	0,54	10,10	0,03	0,51	0,00	0,00	94,69
CDC078-C2-01	IV	46,57	0,04	37,51	0,38	0,00	0,03	0,01	0,65	9,97	0,09	0,05	0,00	0,00	95,40
CDC078-C2-02	IV	46,95	0,05	37,72	0,40	0,03	0,06	0,00	0,58	10,14	0,09	0,20	0,03	0,04	96,43
CDC078-C2-03	IV	46,00	0,02	36,97	0,30	0,02	0,06	0,15	0,46	8,75	0,12	0,26	0,00	0,06	93,25
CDC078-C2-04	IV	45,97	0,03	37,90	0,40	0,00	0,02	0,01	0,76	9,76	0,01	0,05	0,00	0,00	94,92
CDC078-C3-01	IV	46,09	0,02	36,65	0,34	0,00	0,02	0,03	0,45	10,20	0,11	0,41	0,00	0,05	94,40
CDC078-C3-02	IV	47,21	0,00	37,46	0,33	0,00	0,01	0,00	0,45	10,45	0,16	0,00	0,00	0,00	96,16
CDC078-C3-03	IV	46,30	0,01	37,51	0,23	0,03	0,02	0,00	0,72	10,20	0,11	0,10	0,00	0,02	95,31
CDC078-C3-04	IV	44,80	0,01	36,49	0,46	0,02	0,10	0,07	0,56	9,54	0,16	0,46	0,00	0,00	92,72
CDC079-C1-01	IV	45,28	0,00	37,47	0,38	0,03	0,06	0,03	0,66	9,86	0,00	0,00	0,00	0,04	94,76
CDC079-C1-02	IV	46,09	0,01	37,69	0,28	0,00	0,01	0,00	0,57	10,18	0,04	0,28	0,02	0,00	95,59
CDC079-C1-03	IV	45,36	0,02	36,62	0,71	0,12	0,05	0,02	0,64	9,94	0,03	0,38	0,00	0,00	94,99
CDC079-C1-04	IV	45,16	0,00	36,91	0,39	0,02	0,02	0,02	0,41	9,96	0,03	0,05	0,00	0,02	94,38
CDC079-C1-06	IV	45,16	0,04	36,30	0,29	0,03	0,20	0,00	0,48	10,45	0,02	0,26	0,00	0,00	93,43
CDC079-C2-01	IV	44,58	0,00	36,48	0,39	0,00	0,03	0,00	0,72	9,50	0,02	0,00	0,00	0,03	93,06
CDC079-C2-02	IV	43,90	0,01	36,28	0,33	0,00	0,04	0,04	0,59	9,82	0,00	0,25	0,00	0,00	92,42
CDC079-C2-03	IV	44,92	0,02	35,97	0,47	0,03	0,01	0,00	0,63	10,15	0,01	0,20	0,00	0,00	93,46
CDC079-C2-04	IV	44,98	0,01	36,68	0,20	0,03	0,00	0,00	0,69	10,40	0,00	0,10	0,00	0,00	93,37
CDC079-C2-05	IV	44,31	0,02	36,81	0,35	0,00	0,00	0,00	0,93	9,78	0,01	0,30	0,00	0,00	93,46
CDC079-C2-06	IV	44,29	0,02	36,60	0,33	0,01	0,02	0,00	0,73	9,85	0,00	0,20	0,00	0,03	93,26
CDC079-C2-07	IV	45,98	0,00	37,73	0,20	0,00	0,02	0,04	0,83	10,22	0,01	0,43	0,00	0,00	95,78
CDC079-C2-08	IV	45,30	0,00	37,31	0,26	0,00	0,00	0,00	0,99	9,67	0,02	0,19	0,00	0,00	94,71
CDC079-C2-09	IV	45,77	0,00	37,13	0,26	0,00	0,01	0,00	0,56	10,33	0,05	0,05	0,00	0,00	94,42
CDC079-C2-10	IV	45,43	0,00	37,21	0,22	0,07	0,05	0,02	0,53	10,35	0,03	0,14	0,00	0,00	95,25
CDC079-C3-01	IV	45,49	0,00	37,16	0,53	0,00	0,03	0,02	0,64	9,73	0,03	0,09	0,00	0,01	95,09
CDC079-C3-02	IV	43,98	0,00	36,68	0,57	0,02	0,00	0,02	0,71	9,22	0,03	0,00	0,00	0,00	92,78
CDC079-C3-03	IV	45,35	0,02	36,77	0,59	0,02	0,04	0,01	0,72	9,27	0,02	0,14	0,00	0,01	94,52
CDC079-C3-04	IV	45,81	0,00	36,95	0,68	0,02	0,03	0,05	0,72	9,41	0,02	0,00	0,00	0,00	94,84
CDC079-C3-05	IV	44,30	0,00	35,51	0,71	0,02	0,02	0,00	0,71	9,36	0,04	0,30	0,00	0,03	92,53
CDC079-C3-06	IV	43,82	0,00	36,03	0,41	0,00	0,05	0,00	0,47	9,86	0,05	0,05	0,00	0,04	92,36
CDC079-C3-07	IV	43,88	0,00	35,97	0,76	0,08	0,04	0,01	0,75	9,75	0,05	0,30	0,00	0,02	93,01
CDC079-C3-08	IV	44,11	0,00	36,16	0,61	0,00	0,01	0,01	0,63	9,63	0,01	0,00	0,00	0,00	92,72
CDC079-C4-01	IV	44,58	0,00	36,45	0,33	0,00	0,02	0,00	0,41	9,53	0,06	0,40	0,00	0,00	93,33
CDC079-C4-02	IV	44,93	0,02	36,73	0,28	0,01	0,08	0,00	0,56	9,89	0,04	0,00	0,00	0,01	93,33
CDC079-C4-03	IV	44,07	0,01	36,11	0,43	0,00	0,01	0,00	0,52	9,98	0,04	0,00	0,00	0,00	92,16
CDC079-C4-04	IV	45,02	0,02	36,81	0,36	0,00	0,05	0,00	0,35	10,20	0,03	0,30	0,00	0,00	94,09
CDC079-C4-05	IV	44,72	0,05	36,70	0,31	0,02	0,01	0,00	0,49	10,37	0,06	0,15	0,01	0,07	94,08
CDC079-C4-06	IV	45,00	0,03	36,54	0,26	0,00	0,05	0,00	0,56	10,46	0,05	0,00	0,11	0,00	93,20
CDC081-C1-01	IV	46,22	0,00	37,54	0,32	0,07	0,00	0,02	0,71	10,05	0,07	0,47	0,00	0,00	96,06
CDC081-C1-02	IV	45,85	0,00	37,47	0,41	0,05	0,00	0,00	0,60	10,46	0,03	0,00	0,00	0,00	95,48
CDC081-C1-03	IV	46,05	0,01	37,37	0,28	0,04	0,00	0,00	0,36	10,77	0,05	0,00	0,00	0,00	95,44
CDC081-C1-04	IV	45,08	0,02	37,46	0,42	0,03	0,00	0,00	0,50	10,77	0,05	0,33	0,00	0,00	95,16
CDC081-C1-05	IV	45,62	0,00	37,78	0,33	0,00	0,02	0,03	0,54	10,38	0,04	0,10	0,00	0,06	95,48
CDC081-C1-06	IV	45,84	0,00	38,00	0,25	0,04	0,00	0,00	0,70	9,87	0,02	0,33	0,00	0,09	95,65
CDC081-C2-01	IV	45,86	0,00	37,22	0,40	0,07	0,00	0,03	0,65	9,99	0,04	0,45	0,02	0,00	95,35
CDC081-C2-02	IV	46,03	0,01	37,55	0,58	0,01	0,02	0,02	0,64	10,23	0,01	0,20	0,00	0,10	96,19
CDC081-C2-03	IV	45,07	0,02	36,94	0,41	0,04	0,00	0,00	0,54	10,18	0,00	1,10	0,00	0,02	95,02
CDC081-C2-04	IV	45,60	0,01	37,01	0,77	0,04	0,01	0,00	0,76	9,62	0,01	0,45	0,00	0,00	95,19
CDC081-C2-05	IV	45,55	0,02	37,76	0,48	0,00	0,02	0,00	0,47	10,07	0,01	0,55	0,01	0,00	95,70
CDC081-C2-06	IV	45,85	0,02	37,36	0,60	0,05	0,00	0,03	0,77	9,83	0,01	0,60	0,00	0,02	96,07
CDC081-C3-01	IV	45,60	0,01	37,45	0,40	0,03	0,00	0,00	0,88	9,77	0,01	0,20	0,00	0,00	95,05
CDC081-C3-02	IV	46,38	0,00	38,08	0,24	0,00	0,03	0,02	0,64	10,28	0,01	0,55	0,00	0,06	96,95
CDC081-C3-03	IV	45,75	0,00	36,78	0,65	0,01	0,03	0,10	0,61	10,33	0,01	0,70	0,00	0,11	95,63
CDC081-C3-04	IV	44,95	0,01	37,34	0,37	0,00	0,01	0,01	0,78	9,81	0,00	0,50	0,00	0,00	94,42
CDC081-C3-05	IV	44,92	0,00	36,92	0,30	0,03	0,00	0,01	0,78	9,96	0,02	0,75	0,00	0,00	94,37
CDC081-C3-06	IV	44,46	0,00	37,03	0,38	0,06	0,00	0,09	0,70	10,01	0,00	0,40	0,00	0,02	93,85
CDC081-C3-07	IV	45,37	0,01	37,39	0,29	0,02	0,00	0,00	0,70	10,27	0,01	0,29	0,00	0,01	95,00
CDC081-C3-08	IV	45,90	0,00	37,22	0,30	0,01	0,00	0,00	0,71	10,20	0,01	0,19	0,00	0,00	95,18
CDC081-C3-09	IV	45,64	0,00	37,58	0,26	0,01	0,00	0,02	0,72	10,08	0,17	0,14	0,00	0,00	95,24
CDC084-C1-01	IV	45,74	0,05	36,46	0,72	0,06	0,00	0,00	0,92	9,79	0,08	0,13	0,00	0,00	94,56
CDC084-C1-02	IV	45,48	0,04	37,35	0,41	0,00	0,02	0,00	0,43	10,43	0,17	0,23	0,00	0,00	94,78
CDC084-C1-03	IV	45,34	0,03	36,50	0,63	0,00	0,03	0,08	0,70	9,97	0,06	0,15	0,00	0,06	94,20
CDC084-C1-04	IV	45,61	0,02	36,77	0,46	0,02	0,02	0,05	0,56	10,35	0,11	0,00	0,00	0,02	94,57
CDC084-C1-05	IV	45,53	0,06	36,16	0,80	0,00	0,02	0,00	0,82	10,01	0,09	0,00	0,00	0,09	94,25
CDC084-C1-06	IV	45,85	0,04	36,84	0,65	0,00	0,02	0,00	0,80	9,93	0,09	0,00	0,00	0,00	94,98
CDC084-C2-02	IV	46,14	0,00	35,73	0,74	0,04	0,14	0,00	0,26	10,96	0,00	0,08	0,00	0,08	94,17
CDC084-C2-03	IV	46,98	0,05	35,75	0,85	0,03	0,19	0,00	0,27	10,63	0,02	0,00	0,03	0,00	94,93
CDC084-C2-05	IV	47,02	0,03	36,53	0,72	0,00	0,15	0,00	0,30	10,88	0,02	0,00	0,03	0,00	95,85
CDC084-C2-06	IV	46,59	0,02	37,29	0,75	0,00	0,11	0,11	0,39	9,88	0,12	0,23	0,00	0,00	95,59

CDC084-C3-01	IV	47,54	0,01	36,15	0,82	0,00	0,20	0,03	0,22	10,54	0,01	0,00	0,06	0,00	95,57
CDC084-C3-02	IV	45,98	0,08	37,35	0,33	0,00	0,04	0,04	0,52	10,61	0,09	0,13	0,00	0,00	95,50
CDC084-C3-03	IV	45,46	0,05	36,96	0,64	0,04	0,02	0,00	0,75	9,68	0,08	0,13	0,00	0,00	94,43
CDC084-C3-04	IV	45,54	0,04	36,74	0,52	0,02	0,04	0,00	0,49	10,60	0,09	0,26	0,01	0,00	94,93
CDC084-C3-05	IV	45,62	0,04	36,47	0,58	0,00	0,00	0,00	0,74	10,23	0,10	0,23	0,01	0,00	94,63
CDC084-C3-06	IV	45,54	0,05	36,26	0,75	0,02	0,02	0,00	0,80	9,77	0,06	0,05	0,00	0,00	93,95
CDC084-C3-07	IV	45,85	0,05	36,91	0,29	0,00	0,06	0,02	0,32	10,32	0,02	0,23	0,00	0,00	94,26
CDC084-C3-08	IV	46,89	0,06	35,76	1,11	0,06	0,15	0,01	0,22	11,06	0,00	0,08	0,00	0,00	95,52
CDC084-C3-09	IV	46,52	0,05	36,10	0,64	0,01	0,22	0,00	0,31	10,94	0,05	0,00	0,00	0,05	94,99
CDC084-C3-10	IV	45,69	0,04	36,37	0,52	0,00	0,00	0,03	0,84	10,05	0,07	0,08	0,00	0,02	94,37
CDC084-C3-11	IV	45,94	0,06	36,61	0,50	0,05	0,02	0,04	0,71	10,10	0,11	0,00	0,01	0,00	94,73
CDC084-C3-12	IV	45,99	0,03	36,45	0,59	0,00	0,00	0,00	0,83	9,69	0,11	0,03	0,03	0,00	94,32
CDC084-C5-01	IV	46,75	0,04	35,81	0,71	0,00	0,27	0,02	0,32	10,60	0,05	0,18	0,00	0,00	94,78
CDC084-C5-02	IV	44,89	0,06	36,55	0,51	0,01	0,03	0,00	0,51	10,47	0,06	0,08	0,01	0,05	93,75
CDC084-C5-03	IV	45,72	0,05	36,84	0,59	0,03	0,00	0,04	0,89	9,98	0,04	0,15	0,00	0,08	95,06
CDC084-C5-04	IV	45,18	0,03	37,12	0,44	0,03	0,00	0,00	0,75	10,26	0,05	0,18	0,00	0,00	94,57
CDC084-C5-05	IV	45,92	0,03	37,70	0,30	0,00	0,00	0,04	0,69	10,20	0,10	0,13	0,00	0,00	95,42
CDC084-C5-06	IV	45,91	0,02	36,87	0,42	0,05	0,03	0,08	0,38	10,13	0,15	0,00	0,00	0,00	94,36
CDC084-C5-07	IV	45,71	0,03	36,80	0,46	0,00	0,02	0,02	0,45	9,95	0,12	0,00	0,00	0,07	94,09
CDC084-C5-08	IV	46,48	0,05	36,86	0,58	0,01	0,00	0,00	0,60	10,00	0,05	0,21	0,00	0,00	95,31
CDC085-C1-01	IV	45,65	0,00	36,25	0,36	0,00	0,07	0,00	0,68	9,24		0,00	0,00	0,00	92,23
CDC085-C1-01	IV	46,26	0,00	37,53	0,28	0,00	0,01	0,01	1,09	9,83	0,14	0,00	0,00	0,00	95,28
CDC085-C1-02	IV	45,00	0,00	36,87	0,31	0,00	0,02	0,01	0,90	9,72		0,10	0,00	0,05	92,97
CDC085-C1-02	IV	45,95	0,02	37,48	0,31	0,09	0,01	0,00	0,99	9,90	0,06	0,00	0,02	0,01	95,27
CDC085-C1-03	IV	45,39	0,01	36,50	0,27	0,00	0,02	0,02	0,88	9,32		0,00	0,00	0,06	92,48
CDC085-C1-03	IV	45,86	0,02	37,10	0,28	0,00	0,07	0,02	1,07	9,60	0,21	0,00	0,02	0,00	94,78
CDC085-C1-04	IV	46,76	0,01	37,67	0,35	0,00	0,04	0,03	1,17	9,76	0,17	0,00	0,00	0,00	95,99
CDC085-C2-01	IV	45,06	0,06	36,09	0,44	0,02	0,10	0,00	0,79	9,13		0,05	0,00	0,01	91,77
CDC085-C2-02	IV	48,12	0,09	34,43	0,50	0,00	0,08	0,02	0,67	8,32		0,00	0,00	0,00	92,23
CDC085-C2-02	IV	45,87	0,05	36,50	0,63	0,01	0,03	0,00	0,97	9,47	0,18	0,00	0,00	0,00	94,43
CDC085-C2-03	IV	45,94	0,05	36,88	0,24	0,00	0,02	0,00	0,98	9,53		0,00	0,00	0,00	93,64
CDC085-C2-03	IV	45,75	0,10	36,27	0,54	0,04	0,03	0,00	0,98	9,28	0,17	0,00	0,00	0,05	94,11
CDC085-C2-04	IV	46,34	0,03	35,91	0,53	0,07	0,08	0,00	0,74	9,08		0,20	0,00	0,00	92,97
CDC085-C2-04	IV	45,21	0,03	36,92	0,50	0,02	0,00	0,01	0,92	9,52	0,14	0,00	0,00	0,01	94,22
CDC085-C2-05	IV	45,48	0,01	36,77	0,35	0,00	0,08	0,02	0,76	9,19		0,00	0,00	0,00	92,69
CDC085-C3-01	IV	45,38	0,09	36,19	0,51	0,00	0,11	0,08	0,69	9,31		0,44	0,00	0,00	92,80
CDC085-C3-02	IV	45,39	0,04	35,71	0,77	0,00	0,03	0,08	0,62	9,25		0,15	0,00	0,00	92,06
CDC085-C3-03	IV	44,82	0,02	34,90	1,27	0,01	0,11	0,07	0,69	9,14		0,00	0,00	0,02	91,12
CDC085-C3-04	IV	45,28	0,04	36,48	0,38	0,02	0,13	0,00	0,78	9,32		0,00	0,00	0,03	92,46
CDC085-C4-01	IV	46,02	0,02	36,24	0,54	0,01	0,19	0,00	1,00	9,06	0,13	0,00	0,00	0,04	93,92
CDC085-C4-02	IV	46,91	0,02	37,19	0,55	0,07	0,09	0,03	1,07	9,26	0,16	0,13	0,00	0,00	96,10
CDC085-C4-03	IV	45,56	0,01	36,25	0,61	0,00	0,25	0,00	0,85	9,54		0,20	0,06	0,06	93,39
CDC085-C4-03	IV	46,58	0,01	36,88	0,63	0,00	0,14	0,02	1,06	9,29	0,11	0,18	0,00	0,02	95,64
CDC085-C4-04	IV	45,80	0,00	36,83	0,43	0,00	0,06	0,02	0,97	9,50	0,11	0,00	0,00	0,00	94,32
CDC085-C5-01	IV	44,92	0,00	36,51	0,41	0,00	0,00	0,00	0,83	9,36		0,00	0,00	0,00	92,03
CDC085-C5-02	IV	45,12	0,00	36,62	0,39	0,02	0,02	0,00	0,76	9,41		0,00	0,00	0,00	92,34
CDC085-C5-03	IV	45,00	0,09	35,65	0,57	0,05	0,09	0,02	0,81	9,11	0,21	0,00	0,00	0,00	92,18
CDC085-C5-04	IV	45,86	0,08	36,52	0,49	0,02	0,14	0,02	0,61	9,32		0,24	0,00	0,00	93,29
CDC085-C6-01	IV	46,11	0,05	35,74	0,68	0,00	0,29	0,00	0,77	9,67		0,10	0,11	0,01	93,53
CDC085-C6-01	IV	47,10	0,01	35,11	0,59	0,00	0,47	0,00	1,14	9,32	0,00	0,00	0,24	0,00	94,00
CDC085-C6-02	IV	45,75	0,00	34,99	0,80	0,03	0,42	0,10	0,82	9,27		0,05	0,03	0,05	92,33
CDC085-C6-02	IV	47,74	0,04	35,79	0,80	0,02	0,61	0,11	0,87	9,57	0,03	0,13	0,19	0,01	95,90
CDC085-C6-03	IV	45,68	0,02	35,29	0,60	0,00	0,40	0,00	0,62	9,90		0,20	0,18	0,06	92,95
CDC085-C6-03	IV	47,88	0,49	33,94	1,00	0,04	0,94	0,00	0,80	10,02	0,07	0,43	0,30	0,02	96,04
CDC085-C6-04	IV	46,67	0,03	35,44	0,74	0,00	0,45	0,00	0,89	9,61		0,05	0,09	0,05	94,01
CDC085-C6-04	IV	46,05	0,70	35,08	0,84	0,03	0,58	0,00	0,83	9,78	0,02	0,13	0,31	0,00	94,39
CDC085-C6-05	IV	46,84	0,51	34,51	1,01	0,00	0,74	0,00	0,85	9,79	0,03	0,03	0,34	0,03	94,68
CDC085-C8-01	IV	45,53	0,52	34,90	0,97	0,00	0,60	0,01	0,73	10,02		0,15	0,26	0,01	93,70
CDC085-C8-01	IV	46,50	0,59	35,04	0,98	0,00	0,61	0,02	0,74	9,97	0,02	0,00	0,32	0,01	94,89
CDC085-C8-02	IV	45,61	0,58	33,99	2,16	0,01	0,67	0,03	0,77	8,87	0,06	0,10	0,24	0,04	93,20
CDC085-C8-02	IV	45,99	0,71	34,70	1,02	0,02	0,55	0,01	0,70	10,21		0,00	0,28	0,05	94,24
CDC085-C8-03	IV	47,08	0,39	31,62	2,56	0,00	1,74	0,00	0,44	10,37	0,00	0,12	0,28	0,03	94,71
CDC085-C8-04	IV	48,00	0,62	33,16	1,09	0,00	0,80	0,00	0,74	9,44	0,00	0,03	0,28	0,01	94,21
CDC088a-C1-01	II	46,57	0,01	37,05	0,80	0,02	0,00	0,00	1,00	9,69	0,02	0,00	0,00	0,00	95,19
CDC088a-C1-02	II	46,46	0,02	36,07	0,87	0,06	0,07	0,01	0,45	10,56	0,00	0,45	0,00	0,00	95,04
CDC088a-C1-03	II	46,49	0,00	36,67	0,65	0,00	0,00	0,00	0,90	10,13	0,01	0,50	0,00	0,00	95,37
CDC088a-C1-04	II	46,74	0,01	36,77	0,72	0,00	0,07	0,00	1,13	9,61	0,02	0,05	0,00	0,00	95,22
CDC088a-C1-05	II	46,62	0,02	36,85	0,78	0,00	0,02	0,00	1,15	9,90	0,00	0,30	0,00	0,00	95,65
CDC088a-C1-06	II	46,20	0,02	37,30	0,69	0,00	0,06	0,00	1,11	10,03	0,06	0,20	0,00	0,09	95,76
CDC088a-C1-07	II	46,26	0,02	37,13	0,76	0,02	0,01	0,00	1,12	9,60	0,01	0,45	0,04	0,01	95,48
CDC088a-C1-08	II	46,35	0,03	36,79	0,74	0,00	0,06	0,00	1,15	9,63	0,01	0,20	0,00	0,04	95,16
CDC088a-C2-01	II	46,71	0,01	36,98	0,69	0,09	0,05	0,00	0,77	10,28	0,00	0,00	0,03	0,00	95,65
CDC088a-C2-02	II	46,89	0,00	37,33	0,58	0,00	0,04	0,00	0,64	10,53	0,00	0,35	0,02	0,00	96,39
CDC088a-C2-03	II	46,24	0,02	37,11	0,77	0,03	0,03	0,00	1,16	10,02	0,05	0,00	0,00	0,02	95,51
CDC088a-C2-04	II	46,56	0,01	37,30	0,74	0,09	0,00	0,00	1,11	9,97	0,01	0,00	0,02	0,00	95,85
CDC088a-C2-05	II	45,95	0,03	37,06	0,85	0,06	0,01	0,00	1,23	9,63	0,00	0,25	0,00	0,02	95,16
CDC088a-C2-06	II	46,26	0,02	37,25	0,73	0,05	0,01	0,00	1,10	9,66	0,02	0,35	0,00	0,03	95,49

CDC088a-C2-07	II	45,86	0,01	37,02	0,72	0,07	0,01	0,03	1,10	9,77	0,02	0,45	0,00	0,00	95,17
CDC088a-C3-01	II	46,33	0,03	36,54	0,85	0,07	0,01	0,00	1,22	10,02	0,02	0,35	0,00	0,00	95,46
CDC088a-C3-02	II	46,22	0,03	36,79	0,89	0,00	0,04	0,00	1,20	9,70	0,03	0,49	0,01	0,04	95,46
CDC088a-C3-03	II	45,86	0,03	36,75	0,78	0,07	0,03	0,00	0,93	10,02	0,04	0,10	0,02	0,00	94,66
CDC088a-C3-04	II	46,39	0,01	36,73	0,69	0,00	0,01	0,00	1,04	9,95	0,03	0,00	0,00	0,00	94,88
CDC088a-C3-05	II	46,78	0,00	36,92	0,86	0,01	0,02	0,00	1,06	9,60	0,06	0,00	0,00	0,00	95,39
CDC088a-C3-06	II	45,37	0,01	36,83	0,88	0,00	0,02	0,02	1,11	9,75	0,07	0,25	0,00	0,05	94,42
CDC089-C1-01	II	46,17	0,04	36,24	0,92	0,01	0,27	0,00	0,69	10,56	0,00	0,00	0,02	0,00	95,06
CDC089-C1-02	II	46,47	0,10	36,42	1,07	0,07	0,28	0,00	0,69	10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	95,23
CDC089-C1-03	II	46,51	0,08	36,57	0,86	0,01	0,23	0,00	0,59	10,27	0,00	0,15	0,00	0,00	95,38
CDC089-C1-04	II	46,70	0,14	35,82	1,03	0,04	0,28	0,02	0,78	9,71	0,02	0,00	0,00	0,05	94,71
CDC089-C2-01	II	46,59	0,08	36,24	0,90	0,00	0,24	0,02	0,55	10,34	0,00	0,30	0,00	0,00	95,32
CDC089-C2-02	II	46,23	0,07	35,83	1,07	0,00	0,29	0,09	0,63	8,79	0,00	0,05	0,00	0,00	93,17
CDC089-C2-03	II	46,84	0,11	35,80	0,92	0,03	0,29	0,00	0,75	10,54	0,01	0,10	0,01	0,01	95,52
CDC089-C2-04	II	46,05	0,10	35,93	0,81	0,13	0,27	0,00	0,78	10,30	0,00	0,00	0,00	0,01	94,55
CDC089-C2-05	II	45,76	0,01	36,34	0,93	0,00	0,11	0,00	0,80	9,92	0,00	0,75	0,04	0,07	95,06
CDC089-C2-06	II	46,09	0,02	36,19	0,74	0,04	0,21	0,02	0,66	10,23	0,00	0,10	0,02	0,00	94,64
CDC089-C2-07	II	45,19	0,06	36,60	0,71	0,00	0,19	0,02	0,67	10,36	0,01	0,56	0,00	0,00	94,71
CDC089-C2-08	II	46,14	0,03	36,80	0,82	0,00	0,16	0,00	0,78	9,82	0,01	0,00	0,00	0,04	94,94
CDC089-C3-01	II	46,49	0,07	36,65	0,76	0,00	0,26	0,00	0,65	10,38	0,00	0,14	0,00	0,01	95,49
CDC089-C3-02	II	46,38	0,11	36,33	0,77	0,03	0,26	0,03	0,58	10,43	0,00	0,29	0,01	0,02	95,35
CDC089-C3-03	II	45,85	0,01	36,57	0,81	0,00	0,20	0,00	0,70	10,54	0,00	0,00	0,00	0,00	94,98
CDC089-C3-04	II	46,22	0,02	36,70	0,71	0,05	0,18	0,01	0,75	10,32	0,01	0,24	0,00	0,00	95,47
CDC089-C3-05	II	46,55	0,07	36,76	0,74	0,00	0,25	0,03	0,81	10,34	0,00	0,29	0,00	0,11	95,96
CDC089-C3-06	II	46,79	0,11	36,00	0,90	0,00	0,31	0,06	0,73	10,24	0,01	0,05	0,00	0,00	95,34
CDC091-C1-01	I-b	46,74	0,14	35,57	1,88	0,00	0,32	0,01	0,64	10,56	0,01	0,20	0,00	0,08	96,25
CDC091-C2-01	I-b	46,57	0,14	35,70	1,31	0,04	0,40	0,00	0,53	10,45	0,00	0,00	0,00	0,01	95,19
CDC091-C2-02	I-b	46,64	0,13	35,33	1,44	0,04	0,41	0,00	0,55	10,50	0,00	0,00	0,00	0,00	95,15
CDC091-C2-03	I-b	46,20	0,08	35,48	1,29	0,05	0,42	0,00	0,74	10,37	0,01	0,00	0,06	0,00	94,91
CDC091-C3-01	I-b	45,89	0,29	34,81	1,69	0,00	0,39	0,00	0,32	10,93	0,01	0,00	0,00	0,02	94,42
CDC091-C3-02	I-b	46,21	0,11	35,05	1,29	0,00	0,41	0,00	0,61	10,48	0,00	0,00	0,00	0,00	94,29
CDC095a-C1-01	I-a	44,96	0,05	35,02	2,09	0,04	0,30	0,00	0,93	9,84	0,06	0,00	0,00	0,00	93,56
CDC095a-C1-02	I-a	44,82	0,06	34,97	2,31	0,00	0,33	0,00	0,93	9,81	0,08	0,00	0,02	0,00	93,69
CDC095a-C1-03	I-a	45,35	0,04	34,63	2,32	0,00	0,42	0,00	0,87	9,60	0,06	0,00	0,00	0,00	93,73
CDC095a-C1-04	I-a	45,34	0,06	34,88	2,38	0,00	0,36	0,00	0,86	9,84	0,07	0,00	0,00	0,00	94,20
CDC095a-C2-01	I-a	45,56	0,04	34,33	2,27	0,03	0,41	0,07	0,78	9,53	0,04	0,09	0,02	0,02	93,41
CDC095a-C2-02	I-a	45,16	0,04	34,87	2,42	0,00	0,47	0,07	0,97	9,44	0,02	0,00	0,00	0,00	93,77
CDC095a-C2-03	I-a	45,51	0,05	34,96	2,35	0,01	0,39	0,00	0,88	9,61	0,06	0,22	0,00	0,00	94,35
CDC095a-C2-04	I-a	45,64	0,06	35,03	2,13	0,00	0,38	0,05	0,79	9,72	0,01	0,04	0,00	0,02	94,15
CDC095a-C3-01	I-a	46,29	0,07	34,80	2,15	0,00	0,57	0,06	0,91	9,69	0,06	0,13	0,00	0,04	95,09
CDC095a-C3-02	I-a	45,23	0,06	35,20	2,28	0,00	0,33	0,00	0,86	9,53	0,05	0,26	0,02	0,00	94,18
CDC095a-C3-03	I-a	46,35	0,08	35,11	2,25	0,02	0,45	0,00	1,01	9,80	0,02	0,22	0,00	0,00	95,58
CDC095a-C3-04	I-a	46,08	0,10	34,89	2,27	0,03	0,39	0,01	0,83	9,83	0,06	0,43	0,00	0,04	95,25
CDC097-C1-01	I-b	46,35	0,15	35,06	1,25	0,06	0,46	0,00	0,48	9,19	0,09	0,00	0,00	0,00	93,15
CDC097-C1-02	I-b	46,78	0,07	36,12	1,05	0,01	0,36	0,00	0,83	10,20	0,07	0,30	0,00	0,00	95,84
CDC097-C1-03	I-b	47,44	0,11	35,85	1,24	0,04	0,45	0,00	0,61	10,48	0,03	0,45	0,00	0,00	96,75
CDC097-C1-04	I-b	46,77	0,09	35,49	1,26	0,00	0,40	0,00	0,80	10,25	0,06	0,00	0,00	0,00	95,14
CDC097-C2-01	I-b	47,16	0,06	36,37	1,18	0,06	0,38	0,00	0,82	10,40	0,03	0,05	0,00	0,00	96,57
CDC097-C2-02	I-b	47,48	0,30	35,05	1,19	0,03	0,50	0,00	0,50	10,57	0,08	0,35	0,00	0,01	96,15
CDC097-C2-03	I-b	47,06	0,08	35,47	1,38	0,00	0,46	0,02	0,75	10,31	0,04	0,00	0,00	0,02	95,59
CDC097-C2-04	I-b	47,04	0,07	35,47	1,21	0,02	0,46	0,00	0,68	10,36	0,08	0,00	0,00	0,00	95,41
CDC097-C2-05	I-b	46,82	0,14	35,02	1,19	0,00	0,54	0,00	0,66	10,24	0,07	0,25	0,01	0,00	94,98
CDC097-C2-06	I-b	46,84	0,14	35,41	1,32	0,04	0,47	0,00	0,73	10,39	0,07	0,00	0,00	0,02	95,54
CDC097-C3-01	I-b	46,75	0,09	35,64	1,13	0,04	0,43	0,00	0,60	10,45	0,06	0,00	0,00	0,00	95,20
CDC097-C3-02	I-b	45,42	0,55	34,51	1,26	0,02	0,42	0,06	0,41	10,58	0,03	0,00	0,00	0,05	93,33
CDC097-C3-03	I-b	47,26	0,59	34,65	1,09	0,00	0,48	0,00	0,63	10,58	0,04	0,15	0,00	0,00	95,66
CDC097-C3-04	I-b	46,84	0,58	34,69	1,34	0,05	0,53	0,02	0,52	10,65	0,03	0,00	0,00	0,03	95,29
CDC097-C5-02	I-b	45,31	0,07	36,08	1,15	0,00	0,52	0,03	0,42	10,42		0,00	0,00	0,00	94,00
CDC097-C5-03	I-b	45,00	0,00	36,01	1,03	0,06	0,47	0,01	0,70	10,50		0,33	0,00	0,00	94,16
CDC097-C5-04	I-b	44,52	0,04	36,12	1,13	0,04	0,42	0,00	0,70	10,30		0,15	0,01	0,01	93,49
CDC097-C5-05	I-b	44,63	0,00	36,29	1,07	0,00	0,34	0,00	0,42	10,76		0,15	0,00	0,00	93,65
CDC097-C5-06	I-b	44,97	0,09	35,50	1,07	0,02	0,41	0,00	0,65	10,52		0,00	0,02	0,02	93,30
CDC097-C5-07	I-b	44,98	0,16	35,88	1,01	0,10	0,53	0,00	0,79	10,31		0,08	0,00	0,00	93,83
CDC100-C1-01	I-b	46,54	0,34	35,98	1,12	0,00	0,19	0,03	0,35	10,65	0,03	0,20	0,01	0,03	95,50
CDC100-C1-02	I-b	47,63	0,46	34,77	1,22	0,03	0,31	0,00	0,78	10,36	0,01	0,00	0,04	0,02	95,65
CDC100-C1-03	I-b	46,94	0,49	35,41	1,17	0,08	0,24	0,00	0,71	10,68	0,03	0,41	0,00	0,00	96,19
CDC100-C1-04	I-b	46,91	0,47	35,51	0,99	0,00	0,26	0,00	0,62	10,60	0,03	0,00	0,00	0,00	95,43
CDC100-C1-05	I-b	46,91	0,44	35,30	1,34	0,00	0,32	0,02	0,73	10,27	0,02	0,00	0,00	0,04	95,47
CDC100-C1-06	I-b	47,04	0,45	35,50	1,33	0,00	0,30	0,06	0,82	10,12	0,00	0,00	0,00	0,07	95,71
CDC100-C3-01	I-b	47,42	0,22	36,53	1,07	0,00	0,26	0,00	0,70	10,33	0,09	0,00	0,00	0,08	96,76
CDC100-C3-02	I-b	48,14	0,35	36,38	1,09	0,00	0,23	0,00	0,69	10,39	0,01	0,00	0,03	0,06	97,34
CDC100-C3-03	I-b	47,37	0,41	35,54	1,35	0,08	0,38	0,00	0,75	10,13	0,07	0,10	0,00	0,06	96,25
CDC100-C3-04	I-b	47,39	0,41	36,17	1,16	0,00	0,31	0,00	0,72	10,16	0,07	0,00	0,00	0,02	96,44
CDC100-C4-01	I-b	47,15	0,34	35,93	0,77	0,01	0,34	0,03	0,47	10,45	0,01	0,05	0,00	0,00	95,59
CDC100-C4-02	I-b	47,05	0,44	35,44	1,14	0,00	0,45	0,00	0,76	10,62	0,01	0,25	0,00	0,03	96,23
CDC100-C4-03	I-b	47,25	0,37	36,26	0,84	0,00	0,38	0,01	0,60	10,37	0,02	0,00	0,00	0,03	96,27
CDC100-C4-04	I-b	46,53	0,43	35,34	0,82	0,06	0,40	0,00	0,67	10,24	0,00	0,15	0,00	0,00	94,68

CDC100-C4-05	I-b	47,47	0,23	36,11	0,99	0,05	0,32	0,00	0,67	10,09	0,00	0,00	0,00	0,00	96,06
CDC100-C4-06	I-b	47,03	0,26	35,53	0,94	0,03	0,37	0,00	0,51	10,67	0,03	0,40	0,00	0,01	95,87
CDC105-C3-01	I-b	45,62	0,03	35,99	1,01	0,05	0,14	0,03	0,34	10,80	0,03	0,35	0,00	0,04	94,64
CDC105-C3-02	I-b	45,05	0,02	36,18	0,88	0,00	0,08	0,01	0,44	10,60	0,08	0,04	0,00	0,00	93,48
CDC105-C3-03	I-b	45,42	0,03	36,49	0,85	0,00	0,14	0,02	0,43	10,45	0,07	0,00	0,01	0,05	94,14
CDC105-C3-04	I-b	44,91	0,02	35,96	0,88	0,00	0,13	0,02	0,36	10,85	0,06	0,00	0,00	0,00	93,42
CDC108-C1-01	III	47,33	0,03	36,21	1,10	0,00	0,18	0,00	0,61	9,81	0,03	0,45	0,00	0,03	95,83
CDC108-C1-02	III	46,23	0,04	36,19	1,06	0,05	0,23	0,00	0,83	9,80	0,06	0,55	0,00	0,03	95,13
CDC108-C1-03	III	46,83	0,06	36,43	1,03	0,05	0,19	0,01	0,64	10,09	0,01	0,00	0,03	0,01	95,39
CDC108-C1-04	III	47,03	0,00	36,15	1,12	0,00	0,23	0,00	0,73	9,82	0,05	0,00	0,00	0,10	95,35
CDC108-C2-01	III	48,16	0,02	36,94	0,89	0,06	0,25	0,00	0,51	10,67	0,05	0,30	0,00	0,03	97,94
CDC108-C2-02	III	47,87	0,03	36,93	0,99	0,01	0,23	0,00	0,63	10,34	0,06	0,00	0,00	0,00	97,12
CDC108-C2-03	III	47,14	0,04	36,31	1,10	0,01	0,25	0,03	0,62	10,38	0,04	0,45	0,00	0,00	96,37
CDC108-C2-04	III	47,04	0,01	36,48	0,99	0,00	0,25	0,00	0,56	10,44	0,06	0,00	0,00	0,00	95,88
CDC108-C2-05	III	46,55	0,02	35,73	0,88	0,00	0,20	0,00	0,61	10,44	0,05	0,20	0,00	0,00	94,70
CDC108-C2-06	III	47,26	0,04	36,30	1,01	0,00	0,19	0,01	0,73	9,89	0,05	0,00	0,00	0,00	95,49
CDC108-C2-07	III	46,94	0,06	36,54	0,99	0,00	0,15	0,00	0,84	9,75	0,08	0,25	0,00	0,00	95,63
CDC108-C3-01	III	46,74	0,03	36,50	0,99	0,01	0,17	0,00	0,36	10,73	0,03	0,15	0,01	0,00	95,85
CDC108-C3-02	III	46,72	0,06	36,26	0,98	0,00	0,22	0,01	0,70	9,75	0,08	0,00	0,00	0,00	94,81
CDC108-C3-03	III	47,11	0,02	36,09	1,03	0,00	0,20	0,00	0,85	9,25	0,06	0,00	0,00	0,01	94,66
CDC108-C3-04	III	47,01	0,01	35,88	0,93	0,00	0,25	0,02	0,86	10,11	0,08	0,15	0,00	0,01	95,42
CDC108-C3-05	III	47,03	0,01	36,33	1,06	0,02	0,20	0,00	0,72	9,84	0,09	0,05	0,00	0,05	95,43
CDC108-C3-06	III	47,42	0,05	36,00	1,23	0,00	0,21	0,02	0,45	10,40	0,12	0,25	0,00	0,05	96,23
CDC108-C3-07	III	47,58	0,03	36,27	0,87	0,00	0,26	0,00	0,77	9,95	0,10	0,30	0,00	0,03	96,22
CDC108-C3-08	III	47,00	0,03	36,06	1,13	0,08	0,22	0,00	0,71	10,12	0,06	0,05	0,00	0,00	95,53
CDC109-C1-03	III	46,30	0,06	36,89	0,85	0,01	0,04	0,01	0,97	10,10	0,06	0,49	0,01	0,04	95,93
CDC109-C2-01	III	46,91	0,03	36,66	0,69	0,02	0,11	0,00	0,96	10,11	0,09	0,00	0,00	0,02	95,64
CDC109-C2-02	III	46,54	0,01	36,88	0,69	0,03	0,04	0,00	0,91	9,88	0,12	0,00	0,00	0,00	95,13
CDC109-C2-03	III	47,06	0,01	37,03	0,68	0,02	0,07	0,00	0,94	10,12	0,07	0,25	0,00	0,00	96,25
CDC109-C2-04	III	47,14	0,00	36,70	0,73	0,00	0,05	0,00	1,05	9,87	0,07	0,20	0,00	0,00	95,87
CDC109-C2-05	III	46,77	0,01	37,09	0,61	0,00	0,06	0,00	1,06	9,68	0,08	0,45	0,01	0,00	95,81
CDC109-C2-06	III	46,68	0,02	36,69	0,62	0,00	0,12	0,04	0,88	10,21	0,07	0,10	0,00	0,03	95,51
CDC109-C2-07	III	46,20	0,01	36,28	0,76	0,00	0,04	0,01	1,02	9,81	0,03	0,40	0,00	0,00	94,60
CDC109-C2-08	III	46,66	0,00	36,16	0,77	0,09	0,08	0,02	0,98	10,05	0,05	0,10	0,00	0,02	95,00
CDC109-C3-01	III	45,99	0,01	36,20	0,82	0,00	0,09	0,00	0,94	9,94	0,07	0,20	0,00	0,03	94,41
CDC109-C3-02	III	46,53	0,04	35,97	0,82	0,00	0,11	0,01	0,94	10,18	0,08	0,54	0,00	0,00	95,33
CDC109-C3-03	III	46,37	0,13	35,53	0,86	0,04	0,12	0,02	0,90	10,02	0,02	0,30	0,00	0,01	94,41
CDC109-C3-04	III	46,23	0,03	35,95	1,03	0,02	0,06	0,00	0,93	9,72	0,07	0,84	0,00	0,04	95,01
CDC109-C3-05	III	46,05	0,02	36,33	0,75	0,00	0,06	0,00	0,94	10,02	0,05	0,45	0,00	0,00	94,75
CDC109-C3-06	III	46,41	0,02	36,43	0,65	0,03	0,09	0,00	0,83	9,97	0,07	0,20	0,00	0,02	94,83
CDC109-C3-07	III	46,58	0,04	35,65	1,20	0,00	0,00	0,00	0,91	9,47	0,02	0,44	0,00	0,00	94,47
CDC109-C3-08	III	46,60	0,02	35,64	1,00	0,10	0,08	0,00	0,87	9,74	0,01	0,40	0,00	0,00	94,55
CDC109-C4-01	III	45,91	0,00	35,97	0,74	0,00	0,08	0,03	0,93	9,75	0,01	0,15	0,00	0,08	93,71
CDC109-C4-02	III	45,92	0,01	36,34	0,77	0,01	0,10	0,00	0,89	9,85	0,06	0,40	0,00	0,00	94,37
CDC109-C4-03	III	45,91	0,02	36,08	0,62	0,00	0,06	0,00	0,95	9,87	0,01	0,50	0,00	0,00	94,06
CDC109-C4-04	III	46,03	0,01	36,09	0,77	0,00	0,08	0,05	1,00	9,91	0,06	0,54	0,00	0,00	94,63
CDC109-C4-07	III	45,92	0,00	36,45	0,69	0,06	0,12	0,00	0,95	9,71	0,05	0,35	0,00	0,08	94,44
CDC109-C4-08	III	45,75	0,01	36,30	0,67	0,01	0,08	0,01	1,00	9,50	0,04	0,40	0,00	0,07	93,92
CDC111-C1-01	III	45,79	0,00	36,73	0,63	0,00	0,08	0,01	0,57	10,26	0,01	0,15	0,00	0,00	94,24
CDC111-C1-02	III	46,10	0,00	37,45	0,49	0,00	0,07	0,00	0,78	10,39	0,00	0,41	0,05	0,00	95,85
CDC111-C1-03	III	46,24	0,02	37,40	0,41	0,07	0,09	0,00	0,81	9,98	0,00	0,00	0,00	0,00	95,49
CDC111-C1-04	III	46,04	0,01	37,27	0,41	0,03	0,04	0,00	0,93	10,19	0,00	0,46	0,00	0,00	95,88
CDC111-C1-05	III	45,91	0,03	37,40	0,55	0,01	0,02	0,01	0,74	9,87	0,00	0,24	0,00	0,02	95,27
CDC111-C1-06	III	45,95	0,02	36,88	0,49	0,00	0,09	0,00	0,63	10,31	0,00	0,24	0,00	0,05	95,19
CDC111-C2-01	III	46,73	0,02	37,15	0,55	0,02	0,02	0,00	0,83	9,94	0,01	0,33	0,00	0,01	95,65
CDC111-C2-02	III	45,96	0,02	36,90	0,52	0,00	0,06	0,00	0,66	10,10	0,00	0,57	0,00	0,06	94,94
CDC111-C2-03	III	45,97	0,03	36,91	0,52	0,00	0,02	0,00	0,78	9,99	0,00	0,00	0,00	0,00	94,69
CDC111-C2-04	III	46,06	0,02	37,10	0,41	0,00	0,05	0,01	0,78	10,09	0,00	0,33	0,00	0,00	95,22
CDC111-C2-05	III	46,04	0,00	36,86	0,56	0,02	0,06	0,01	0,66	10,31	0,00	0,00	0,00	0,06	94,60
CDC111-C2-07	III	45,30	0,02	36,82	0,51	0,00	0,07	0,00	0,66	10,60	0,00	0,00	0,00	0,00	94,06
CDC111-C2-08	III	45,88	0,04	37,49	0,50	0,00	0,07	0,01	0,82	10,29	0,00	0,00	0,00	0,01	95,17
CDC111-C3-01	III	45,80	0,00	36,54	0,47	0,04	0,07	0,00	0,85	10,02	0,00	0,15	0,00	0,01	93,95
CDC111-C3-02	III	46,44	0,00	37,37	0,69	0,00	0,10	0,00	0,85	9,94	0,00	0,41	0,00	0,03	95,98
CDC111-C3-03	III	46,24	0,00	37,43	0,52	0,00	0,05	0,01	0,75	10,44	0,01	0,15	0,00	0,00	95,62
CDC111-C3-04	III	46,08	0,00	36,79	0,56	0,05	0,08	0,00	0,58	10,57	0,00	0,15	0,00	0,05	94,95
CDC111-C4-01	III	46,85	0,03	37,65	0,55	0,00	0,10	0,00	0,66	10,50	0,00	0,00	0,00	0,00	96,37
CDC111-C4-02	III	46,50	0,02	36,97	0,62	0,04	0,09	0,00	0,53	10,46	0,01	0,20	0,00	0,01	95,47
CDC111-C4-03	III	45,86	0,01	36,28	0,53	0,00	0,08	0,00	0,63	10,34	0,00	0,00	0,00	0,00	94,18
CDC111-C4-04	III	46,19	0,02	36,29	0,59	0,04	0,15	0,00	0,76	9,53	0,00	0,00	0,00	0,00	94,15
CDC113-C1-01	I-b	46,41	0,09	35,40	1,02	0,00	0,56	0,00	0,45	10,66	0,03	0,00	0,00	0,00	94,62
CDC113-C1-02	I-b	46,24	0,11	35,15	0,99	0,05	0,57	0,00	0,51	10,87	0,03	0,10	0,00	0,01	94,67
CDC113-C1-03	I-b	46,12	0,10	35,29	1,20	0,05	0,49	0,00	0,42	10,79	0,07	0,25	0,00	0,02	94,80
CDC113-C1-04	I-b	46,70	0,11	35,31	0,84	0,01	0,46	0,03	0,50	10,67	0,05	0,00	0,00	0,01	94,68
CDC113-C2-01	I-b	46,31	0,38	35,65	1,19	0,00	0,40	0,00	0,38	11,04	0,04	0,00	0,01	0,00	95,44
CDC113-C2-02	I-b	46,00	0,48	34,13	2,59	0,06	0,72	0,02	0,29	11,06	0,05	0,28	0,00	0,01	95,75
CDC113-C2-03	I-b	46,17	0,71	35,51	1,06	0,00	0,37	0,00	0,37	11,04	0,10	0,29	0,04	0,00	95,67
CDC113-C3-01	I-b	46,67	0,10	36,37	1,20	0,05	0,23	0,00	0,30	10,67	0,05	0,00	0,00	0,06	95,74

CDC113-C3-02	I-b	46,64	0,08	37,01	0,95	0,00	0,22	0,00	0,30	10,69	0,04	0,00	0,01	0,13	96,06
CDC113-C3-03	I-b	45,51	0,25	36,37	0,81	0,00	0,20	0,00	0,33	11,09	0,08	0,00	0,00	0,00	94,64
CDC113-C3-04	I-b	47,01	0,62	35,74	0,84	0,02	0,34	0,00	0,35	10,73	0,06	0,00	0,00	0,00	95,77
CDC113-C3-05	I-b	46,61	0,26	36,37	0,77	0,04	0,32	0,00	0,35	10,93	0,10	0,00	0,03	0,05	95,88
CDC119-C1-01	I-b	46,01	0,00	36,67	0,50	0,00	0,09	0,02	0,42	10,57		0,29	0,00	0,00	94,57
CDC119-C1-02	I-b	45,78	0,00	36,32	0,45	0,00	0,16	0,00	0,54	10,54		0,24	0,00	0,00	94,02
CDC119-C1-04	I-b	45,27	0,00	36,36	0,49	0,00	0,16	0,00	0,38	10,62		0,00	0,01	0,00	93,29
CDC119-C2-01	I-b	45,59	0,00	36,75	0,11	0,00	0,01	0,02	0,35	10,28		0,00	0,07	0,01	93,19
CDC119-C2-02	I-b	46,12	0,00	36,91	0,25	0,02	0,01	0,00	0,39	10,78		0,00	0,00	0,00	94,47
CDC119-C2-03	I-b	46,01	0,01	36,30	0,10	0,00	0,08	0,00	0,33	10,17		0,29	0,05	0,00	93,34
CDC119-C2-04	I-b	45,11	0,01	36,76	0,15	0,00	0,04	0,00	0,38	10,45		0,53	0,04	0,03	93,52
CDC119-C2-05	I-b	45,42	0,01	36,73	0,27	0,02	0,05	0,00	0,35	10,37		0,00	0,16	0,05	93,42
CDC119-C2-06	I-b	46,18	0,03	36,91	0,14	0,00	0,04	0,00	0,53	10,26		0,19	0,12	0,00	94,40
CDC119-C6-01	I-b	45,62	0,46	34,97	0,89	0,03	0,41	0,03	0,59	10,54		0,00	0,00	0,03	93,56
CDC119-C6-02	I-b	45,96	0,45	34,95	1,02	0,02	0,48	0,01	0,57	10,41		0,00	0,00	0,00	93,87
CDC119-C6-03	I-b	45,97	0,46	34,68	0,97	0,03	0,56	0,00	0,51	10,58		0,00	0,00	0,04	93,79
CDC120a-C1-01	I-a	47,85	0,13	34,66	2,87	0,00	0,59	0,03	0,84	10,05	0,04	0,20	0,00	0,00	97,34
CDC120a-C1-02	I-a	48,15	0,23	34,81	2,96	0,01	0,71	0,00	0,82	10,11	0,02	0,00	0,07	0,00	97,88
CDC120a-C1-03	I-a	46,72	0,11	33,34	2,90	0,00	0,71	0,00	0,86	9,95	0,02	0,05	0,00	0,00	94,76
CDC120c-C1-01	I-a	46,57	0,23	34,16	2,65	0,00	0,66	0,03	0,89	10,06	0,09	0,10	0,06	0,00	95,55
CDC120c-C1-02	I-a	46,75	0,06	33,66	2,50	0,01	0,70	0,04	0,97	10,00	0,10	0,25	0,00	0,00	95,09
CDC120c-C1-03	I-a	46,90	0,11	34,46	2,59	0,07	0,63	0,06	0,93	9,58	0,09	0,15	0,00	0,05	95,70
CDC120c-C1-04	I-a	46,75	0,16	34,56	2,77	0,03	0,62	0,03	0,87	9,89	0,00	0,00	0,00	0,00	95,73
CDC120c-C2-01	I-a	47,74	0,09	35,03	2,49	0,06	0,57	0,00	0,87	9,96	0,01	0,00	0,03	0,06	96,91
CDC120c-C2-03	I-a	46,56	0,09	34,59	2,40	0,02	0,61	0,02	0,88	9,97	0,00	0,00	0,08	0,00	95,27
CDC120c-C3-01	I-a	47,16	0,03	34,91	2,38	0,03	0,52	0,07	0,85	9,76	0,02	0,09	0,09	0,00	95,92
CDC121-C1-01	I-b	46,46	0,02	36,09	0,51	0,00	0,26	0,03	0,40	11,02	0,02	0,20	0,04	0,00	95,06
CDC121-C1-03	I-b	46,41	0,00	37,85	0,31	0,00	0,08	0,06	0,57	10,51	0,08	0,00	0,00	0,09	95,98
CDC121-C1-04	I-b	46,74	0,03	37,16	0,48	0,00	0,27	0,00	0,37	8,88	0,08	0,03	0,02	0,00	94,07
CDC121-C2-01	I-b	47,15	0,03	36,06	0,79	0,02	0,46	0,00	0,41	10,89	0,03	0,10	0,00	0,01	95,96
CDC121-C2-02	I-b	47,28	0,03	35,42	0,87	0,02	0,41	0,00	0,46	10,74	0,06	0,00	0,00	0,00	95,29
CDC121-C2-03	I-b	47,27	0,01	35,79	0,85	0,02	0,55	0,00	0,40	10,82	0,02	0,25	0,00	0,00	95,98
CDC121-C3-01	I-b	46,55	0,16	34,99	0,98	0,00	0,62	0,00	0,39	10,87	0,03	0,00	0,04	0,00	94,63
CDC121-C3-02	I-b	47,26	0,17	35,33	1,03	0,02	0,64	0,00	0,43	10,74	0,04	0,43	0,02	0,00	96,12
CDC121-C3-04	I-b	46,89	0,16	35,07	0,99	0,00	0,60	0,01	0,35	10,78	0,02	0,03	0,00	0,04	94,97
CDC121-C3-05	I-b	45,82	0,16	35,19	1,00	0,07	0,51	0,00	0,37	10,87	0,08	0,03	0,00	0,05	94,22
CDC121-C3-06	I-b	46,64	0,10	34,76	0,95	0,02	0,63	0,00	0,51	10,79	0,03	0,00	0,00	0,03	94,45
CDC121-C3-07	I-b	46,93	0,19	35,55	0,94	0,03	0,55	0,00	0,44	10,73	0,06	0,00	0,00	0,00	95,43
CDC121-C3-08	I-b	46,57	0,21	35,71	1,06	0,04	0,48	0,00	0,47	10,31	0,02	0,10	0,00	0,05	95,06
CDC121-C3-09	I-b	46,46	0,14	34,95	0,92	0,00	0,68	0,01	0,53	10,70	0,06	0,00	0,00	0,01	94,45
CDC121-C4-01	I-b	46,58	0,23	35,65	0,91	0,02	0,46	0,00	0,44	10,47	0,03	0,00	0,00	0,03	94,84
CDC121-C4-02	I-b	46,06	0,18	35,52	1,02	0,00	0,41	0,00	0,36	10,73	0,05	0,15	0,00	0,00	94,56
CDC123-C1-01	IV	46,86	0,02	36,78	0,39	0,09	0,03	0,00	0,70	9,81	0,14	0,00	0,00	0,05	95,22
CDC123-C1-02	IV	45,28	0,01	36,94	0,52	0,08	0,00	0,00	0,65	9,70	0,16	0,39	0,00	0,03	93,98
CDC123-C1-03	IV	45,68	0,03	36,91	0,65	0,05	0,03	0,00	0,66	9,92	0,23	0,19	0,00	0,00	94,92
CDC123-C1-04	IV	46,28	0,02	36,64	0,38	0,03	0,04	0,01	0,49	9,75	0,17	0,00	0,00	0,05	93,91
CDC123-C1-05	IV	45,48	0,01	36,71	0,44	0,00	0,00	0,00	0,70	9,80	0,29	0,00	0,00	0,02	94,01
CDC123-C2-01	IV	45,84	0,01	37,00	0,45	0,03	0,00	0,02	0,61	9,43	0,19	0,53	0,00	0,01	94,47
CDC123-C2-02	IV	46,29	0,01	35,65	0,81	0,06	0,04	0,00	0,55	9,38	0,09	0,77	0,00	0,00	94,36
CDC123-C2-03	IV	46,13	0,01	36,84	0,38	0,00	0,02	0,00	0,66	9,78	0,19	0,19	0,00	0,00	94,26
CDC123-C2-04	IV	45,40	0,00	36,77	0,59	0,00	0,05	0,00	0,79	9,75	0,09	0,63	0,00	0,05	94,62
CDC123-C2-05	IV	46,30	0,01	36,39	0,50	0,00	0,00	0,04	0,60	9,64		0,72	0,00	0,03	94,23
CDC123-C3-01	IV	46,08	0,00	36,47	0,50	0,00	0,01	0,00	0,59	9,59	0,13	0,10	0,00	0,01	94,06
CDC123-C3-02	IV	46,30	0,04	36,76	0,45	0,09	0,00	0,00	0,51	9,71	0,18	0,29	0,00	0,06	94,80
CDC123-C3-03	IV	46,37	0,01	35,95	0,69	0,00	0,04	0,00	0,64	9,66	0,09	0,05	0,00	0,07	94,41
CDC123-C3-04	IV	45,82	0,02	36,58	0,44	0,00	0,00	0,00	0,67	9,94	0,64	0,15	0,00	0,00	94,35
CDC123-C4-01	IV	45,88	0,01	36,37	0,36	0,02	0,00	0,00	0,65	9,34	0,28	0,10	0,00	0,06	93,75
CDC123-C4-02	IV	45,77	0,00	37,05	0,46	0,04	0,01	0,00	0,62	9,58	0,29	0,00	0,00	0,00	94,36
CDC123-C4-03	IV	46,79	0,01	36,70	0,43	0,00	0,00	0,00	0,68	9,64	0,16	0,10	0,05	0,03	94,67
CDC123-C4-04	IV	45,92	0,02	36,73	0,41	0,05	0,00	0,00	0,61	9,61	0,16	0,39	0,00	0,01	94,48
CDC123-C5-01	IV	46,17	0,02	36,86	0,32	0,00	0,00	0,03	0,56	9,76	0,49	0,15	0,00	0,01	94,63
CDC123-C5-02	IV	46,87	0,02	36,22	0,64	0,00	0,03	0,00	0,57	9,53	0,15	0,00	0,00	0,03	94,64
CDC123-C5-03	IV	45,64	0,02	36,82	0,57	0,03	0,00	0,00	0,63	9,77	0,16	0,29	0,00	0,09	94,20
CDC123-C5-04	IV	46,50	0,03	36,21	0,65	0,03	0,04	0,01	0,60	9,50	0,24	0,29	0,01	0,04	94,59
CDC124-C1-01	III	45,42	0,25	35,72	0,69	0,03	0,18	0,05	0,44	10,67		0,24	0,00	0,02	93,72
CDC124-C1-02	III	45,51	0,14	35,58	1,23	0,00	0,26	0,00	0,50	9,95		0,00	0,00	0,00	93,18
CDC124-C1-03	III	45,35	0,09	36,81	0,58	0,00	0,10	0,00	0,51	10,51		0,05	0,00	0,04	94,03
CDC124-C1-04	III	45,80	0,14	35,50	1,08	0,01	0,24	0,00	0,55	10,27		0,00	0,00	0,03	93,62
CDC124-C1-05	III	45,08	0,08	36,93	0,44	0,00	0,08	0,00	0,31	10,88		0,48	0,00	0,00	94,28
CDC124-C2-01	III	45,27	0,22	36,14	0,68	0,02	0,08	0,00	0,24	10,87		0,39	0,00	0,00	93,91
CDC124-C2-02	III	45,85	0,24	35,67	0,64	0,00	0,25	0,00	0,24	10,81		0,00	0,00	0,00	93,69
CDC124-C2-03	III	45,45	0,14	35,89	0,73	0,03	0,26	0,00	0,26	10,71		0,10	0,00	0,10	93,66
CDC124-C2-04	III	45,61	0,30	36,18	0,49	0,00	0,11	0,00	0,23	10,91		0,00	0,00	0,03	93,86
CDC124-C2-05	III	45,06	0,30	36,38	0,46	0,02	0,07	0,00	0,34	10,33		0,00	0,00	0,08	93,04
CDC124-C2-06	III	44,94	0,34	35,89	0,48	0,02	0,29	0,00	0,36	10,56		0,24	0,00	0,04	93,17
CDC124-C2-07	III	45,96	0,29	35,90	0,71	0,00	0,15	0,00	0,24	10,58		0,00	0,01	0,05	93,90
CDC124-C2-08	III	45,65	0,09	34,69	1,06	0,00	0,27	0,00	0,26	10,49		0,00	0,00	0,04	92,53

CDC124-C4-01	III	45,41	0,18	36,04	0,74	0,00	0,13	0,02	0,27	10,55		0,39	0,00	0,00	93,73
CDC124-C4-02	III	45,74	0,20	35,26	1,53	0,07	0,22	0,02	0,64	10,05		0,24	0,00	0,00	93,97
CDC124-C4-03	III	46,59	0,09	35,07	1,24	0,12	0,33	0,00	0,14	10,90		0,19	0,00	0,00	94,68
CDC124-C4-04	III	45,31	0,24	36,03	1,06	0,03	0,11	0,00	0,72	10,09		0,19	0,00	0,00	93,78
CDC124-C4-05	III	46,09	0,16	35,72	0,88	0,01	0,16	0,04	0,33	10,63		0,00	0,01	0,01	94,02
CDC124-C4-06	III	46,17	0,21	35,66	1,15	0,03	0,22	0,00	0,54	10,19		0,05	0,00	0,00	94,23
CDC124-C4-07	III	45,44	0,20	34,58	1,53	0,03	0,31	0,00	0,58	10,16		0,24	0,00	0,03	93,08
CDC124-C5-01	III	45,48	0,09	36,20	0,65	0,01	0,10	0,04	0,23	10,73		0,19	0,00	0,01	93,74
CDC124-C5-02	III	45,91	0,10	36,03	0,63	0,00	0,08	0,01	0,34	10,81		0,00	0,00	0,03	93,96
CDC124-C5-03	III	47,63	0,04	32,36	1,72	0,00	1,18	0,02	0,19	10,36		0,00	0,04	0,00	93,55
CDC124-C5-04	III	47,37	0,00	33,97	1,03	0,00	0,70	0,04	0,15	10,65		0,15	0,00	0,00	94,05
CDC146-C1-01	III	46,47	0,09	37,48	0,66	0,01	0,06	0,00	0,53	9,73		0,44	0,00	0,00	95,49
CDC146-C1-02	III	46,95	0,08	36,67	0,86	0,03	0,14	0,05	0,31	9,83		0,00	0,00	0,00	94,92
CDC146-C1-03	III	46,36	0,07	37,50	0,79	0,04	0,13	0,02	0,47	9,96		0,29	0,00	0,00	95,61
CDC146-C1-04	III	46,12	0,09	35,76	0,75	0,00	0,11	0,06	0,50	9,14		0,34	0,00	0,04	92,90
CDC146-C1-05	III	46,87	0,04	36,65	0,79	0,00	0,11	0,01	0,53	9,43		0,63	0,00	0,06	95,12
CDC146-C1-06	III	48,02	0,07	36,61	0,81	0,00	0,15	0,00	0,55	9,20		0,00	0,00	0,00	95,40
CDC146-C2-01	III	46,58	0,08	36,20	1,12	0,05	0,16	0,00	0,19	10,70		0,20	0,00	0,10	95,36
CDC146-C2-02	III	45,95	0,05	36,02	0,82	0,00	0,13	0,06	0,30	9,72		0,05	0,03	0,01	93,15
CDC146-C2-03	III	47,39	0,09	37,27	0,74	0,00	0,07	0,00	0,17	10,16		0,00	0,00	0,02	95,91
CDC146-C2-04	III	47,04	0,08	36,79	0,96	0,00	0,13	0,00	0,21	10,27		0,29	0,00	0,03	95,80
CDC146-C3-01	III	47,69	0,07	36,28	0,87	0,07	0,12	0,00	0,50	9,83		0,20	0,00	0,01	95,62
CDC146-C3-02	III	47,54	0,08	35,72	0,90	0,10	0,14	0,00	0,50	9,81		0,59	0,00	0,00	95,37
CDC146-C3-03	III	47,37	0,07	35,41	1,02	0,03	0,13	0,04	0,50	9,55		0,29	0,03	0,00	94,43
CDC146-C3-04	III	47,78	0,07	35,87	0,89	0,00	0,16	0,05	0,57	10,01		0,25	0,00	0,00	95,63
CDC146-C3-05	III	47,39	0,10	36,42	0,91	0,03	0,11	0,03	0,61	9,70		0,93	0,00	0,00	96,21
CDC146-C3-06	III	47,74	0,07	36,26	0,83	0,08	0,12	0,01	0,55	9,92		1,02	0,00	0,00	96,60
CDC146-C4-01	III	46,53	0,07	35,88	0,66	0,00	0,10	0,00	0,53	9,89		0,49	0,00	0,00	94,14
CDC146-C4-02	III	46,66	0,07	36,22	0,76	0,03	0,11	0,00	0,58	9,50		0,10	0,00	0,00	94,03
CDC146-C4-03	III	46,57	0,10	36,21	0,88	0,08	0,14	0,00	0,62	9,32		0,49	0,00	0,05	94,47
CDC146-C4-04	III	46,39	0,05	36,20	1,12	0,01	0,14	0,04	0,64	9,50		0,63	0,00	0,00	94,72
CDC147-C1-01	IV	45,89	0,01	36,39	0,58	0,00	0,13	0,00	0,62	9,68		0,25	0,00	0,04	93,57
CDC147-C1-02	IV	45,94	0,00	36,26	0,68	0,00	0,11	0,00	0,72	9,72		0,05	0,00	0,00	93,48
CDC147-C1-03	IV	45,86	0,02	36,32	0,56	0,00	0,11	0,03	0,68	9,97		0,64	0,00	0,01	94,20
CDC147-C1-04	IV	45,20	0,01	36,59	0,57	0,03	0,10	0,00	0,78	9,95		0,29	0,06	0,00	93,58
CDC147-C1-05	IV	45,77	0,01	36,89	0,39	0,00	0,10	0,00	0,76	10,00		0,15	0,00	0,03	94,10
CDC147-C2-01	IV	45,52	0,02	36,64	0,58	0,03	0,09	0,00	0,69	10,06		0,00	0,00	0,03	93,66
CDC147-C2-02	IV	45,37	0,01	36,71	0,48	0,02	0,12	0,00	0,75	10,26		0,44	0,01	0,08	94,25
CDC147-C2-03	IV	45,55	0,01	36,79	0,46	0,00	0,09	0,03	0,80	9,79		0,00	0,09	0,03	93,63
CDC147-C2-04	IV	45,58	0,00	37,15	0,52	0,00	0,11	0,00	0,78	9,72		0,29	0,04	0,01	94,21
CDC147-C2-05	IV	45,70	0,03	36,56	0,63	0,00	0,13	0,00	0,80	10,02		0,00	0,00	0,00	93,86
CDC147-C3-01	IV	45,58	0,00	36,09	0,67	0,01	0,07	0,00	0,66	9,50		0,00	0,00	0,01	92,59
CDC147-C3-03	IV	45,71	0,03	36,76	0,54	0,02	0,11	0,00	0,64	10,16		0,44	0,02	0,00	94,44
CDC147-C3-04	IV	46,25	0,01	36,07	0,54	0,00	0,15	0,00	0,55	10,05		0,15	0,00	0,01	93,77
CDC147-C3-05	IV	45,63	0,01	36,28	0,63	0,03	0,10	0,01	0,56	9,43		0,00	0,00	0,06	92,73
CDC147-C5-01	IV	45,82	0,00	36,54	0,59	0,00	0,08	0,00	0,83	10,00		0,05	0,00	0,06	93,98
CDC147-C5-02	IV	46,25	0,01	36,90	0,50	0,01	0,03	0,00	0,79	10,09		0,00	0,00	0,03	94,60
CDC147-C5-03	IV	45,51	0,01	36,73	0,42	0,00	0,07	0,04	0,68	10,24		0,69	0,01	0,05	94,44
CDC147-C5-04	IV	45,71	0,00	36,78	0,64	0,00	0,01	0,00	0,74	9,40		0,34	0,00	0,02	93,65
CDC147-C5-05	IV	46,35	0,00	36,61	0,54	0,02	0,08	0,03	0,71	10,02		0,20	0,04	0,08	94,67
CDC147-C7-01	IV	46,13	0,02	36,54	0,59	0,00	0,11	0,01	0,73	10,36		0,05	0,00	0,01	94,56
CDC147-C7-02	IV	45,28	0,03	36,87	0,39	0,01	0,03	0,00	0,77	9,81		0,20	0,00	0,00	93,37
CDC147-C7-03	IV	45,92	0,03	36,64	0,47	0,00	0,06	0,00	0,72	10,30		0,49	0,02	0,08	94,73
CDC147-C7-04	IV	45,50	0,02	36,32	0,56	0,00	0,08	0,01	0,73	10,18		0,00	0,00	0,00	93,41
CDC147-C7-05	IV	45,66	0,03	36,70	0,53	0,04	0,07	0,00	0,67	9,94		0,30	0,00	0,00	93,93
CDC147-C7-06	IV	45,31	0,03	36,49	0,44	0,05	0,07	0,01	0,70	10,07		0,10	0,00	0,01	93,29
CDC147-C7-08	IV	44,89	0,02	36,85	0,50	0,00	0,03	0,01	0,64	9,47		0,00	0,00	0,00	92,41

Tableau d'analyses en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites primaires magmatiques des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en ppm.

Nom Pts	Type	Li7	Be9	B11	P31	Sc45	Rb85	Sr86	Y89	Zr91	Nb93	Sn120	Cs133	Ba137	La139	Ce140	Gd157	Yb173	Lu175	Hf177	Ta181	Pb208	Th232	U238	
CDC001_C1_01	I-b	70	<7,5892	93	335	2	2852	<15,7709	<0,27493	<7,6281	247	287	84	<1,7276	<0,10278	<0,09244	<0,91011	<0,25208	<0,061124	<0,32241	30	1	<0,011342	<0,0091327	
CDC001_C1_02	I-b	81	<6,576	64	145	5	1739	<15,8794	<0,23089	<7,5121	237	114	11	6	<0,061885	<0,06773	<0,86377	<0,24854	<0,076732	<0,2959	57	1	<0,024171	<0,0066479	
CDC001_C1_03	I-b	81	<7,8362	87	381	2	3723	<16,7237	<0,29039	<7,8466	261	335	89	2	<0,097493	<0,06622	<0,94328	<0,14402	<0,057824	0	34	1	<0,0087811	<0,0070677	
CDC001_C1_04	I-b	80	<7,6439	92	374	<1,4872	3497	<16,5531	<0,27281	<7,8821	241	312	81	<1,6635	<0,10079	<0,059289	<0,99712	<0,34705	<0,075575	<0,19794	31	1	<0,0090678	<0,016787	
CDC001_C1_05	I-b	77	6	75	<1,276	7	3403	<7,1832	<0,032075	1	292	345	85	3	<0,010884	<0,013163	<0,042378	<0,014112	<0,0060509	0	33	1	<0,0026177	<0,0014277	
CDC001_C1_06	I-b	75	6	84	<1,1239	8	2941	<7,6451	<0,017382	1	340	363	76	1	<0,011643	<0,012589	<0,057316	<0,048612	<0,0027857	0	29	1	<0,0027758	0	
CDC001_C1_07	I-b	90	6	77	<1,3903	7	2988	<10,6573	<0,043574	1	304	233	73	2	<0,022502	<0,016743	<0,049801	<0,027512	<0,0051333	0	45	1	<0,0051198	0	
CDC001_C1_08	I-b	82	8	67	<1,0019	13	1906	<8,2951	<0,029302	2	372	233	62	14	<0,0059715	<0,0098463	<0,035033	<0,017298	<0,0032294	0	53	2	<0,0032249	0	
CDC001_C1_09	I-b	84	7	60	<0,91975	12	2024	<9,0099	<0,039865	2	344	282	101	15	<0,027796	<0,0039937	<0,078278	<0,041	<0,0076616	0	57	1	<0,003332	0	
CDC029_C1_01	I-b	21	4	32	131	3	546	<9,0224	<0,030032	1	30	70	18	137	<0,021193	<0,012099	<0,19632	<0,045502	<0,014561	<0,094837	17	1	<0,0083775	0	
CDC029_C1_02	I-b	15	4	45	105	2	489	<9,1982	<0,048092	<0,41145	7	57	17	143	<0,022343	<0,019177	<0,13791	<0,039974	<0,020297	<0,090526	2	1	<0,0073612	<0,0046358	
CDC029_C1_03	I-b	19	4	39	103	2	535	<9,6607	<0,050657	1	12	60	13	146	<0,038809	<0,01705	<0,20891	<0,044485	<0,014747	0	5	2	<0,0081936	0	
CDC029_C1_04	I-b	14	3	38	127	4	598	<9,956	<0,044496	1	32	72	19	176	<0,02879	<0,014991	<0,22098	<0,081596	<0,027341	0	15	2	<0,018034	0	
CDC029_C2_01	I-b	19	3	42	132	2	502	<9,2984	<0,0469	<0,50383	1	54	15	207	<0,016426	<0,014989	<0,20036	<0,046396	<0,017574	<0,045669	1	1	<0,015338	0	
CDC029_C2_02	I-b	18	3	35	117	3	513	<10,3144	<0,055707	<0,60271	2	69	14	164	<0,009966	<0,023326	<0,26134	<0,050431	<0,021368	<0,089098	1	2	<0,009296	<0,005836	
CDC029_C2_03	I-b	27	3	39	148	7	545	<9,2754	<0,051712	1	24	71	16	161	<0,02641	<0,018252	<0,216	<0,042968	<0,0076613	<0,14534	10	2	<0,0079225	0	
CDC029_C3_01	I-b	18	5	42	130	2	523	<9,9766	<0,032651	<0,46161	5	59	15	137	0	<0,016727	<0,19629	<0,094582	<0,013976	0	2	2	<0,0072783	<0,0045621	
CDC029_C3_02	I-b	21	3	41	118	2	540	<8,597	<0,037457	<0,52382	22	68	15	130	<0,02416	<0,015135	<0,12118	<0,071701	<0,012782	<0,095711	8	1	<0,0068798	<0,0043083	
CDC029_C3_03	I-b	18	4	37	113	2	481	<10,2509	<0,048892	<0,588	7	49	15	120	<0,023383	<0,013252	<0,20534	<0,1047	<0,018664	<0,086767	3	2	<0,0087195	<0,010142	
CDC120C_C1_01	I-a	28	<3,2513	58	113	5	366	13	<0,1663	<5,2465	84	232	5	440	<0,06208	<0,055997	<0,55782	<0,12558	<0,050379	<0,23505	5	8	<0,015401	0	
CDC120C_C1_02	I-a	21	<3,5937	87	47	5	277	18	<0,16904	<5,5928	21	133	4	666	<0,063805	<0,049932	<0,66265	<0,15912	<0,047848	<0,1723	2	7	<0,01653	<0,0039288	
CDC120C_C1_03	I-a	23	<3,3328	53	81	11	298	13	<0,17591	<5,6543	58	158	4	750	<0,053802	<0,051392	<0,65891	<0,1934	<0,039855	<0,23219	5	5	<0,019519	0	
CDC120C_C1_04	I-a	30	<3,6951	44	120	9	358	11	<0,16643	<5,1778	83	240	5	493	<0,057805	<0,059538	<0,55076	<0,18994	<0,047802	<0,14919	5	4	<0,0047634	<0,013198	
CDC120C_C2_01	I-a	23	<3,4228	76	86	9	292	18	<0,16801	<5,36	43	142	4	617	<0,057149	<0,065302	<0,58677	<0,14515	<0,042993	<0,14204	4	9	<0,014434	<0,011888	
CDC120C_C2_02	I-a	30	<3,6003	54	105	18	292	13	<0,16346	<5,4893	69	229	4	703	<0,06796	<0,051126	<0,54183	<0,19889	<0,041651	<0,18441	4	8	<0,0047902	<0,0095642	
CDC120C_C2_03	I-a	28	<3,3195	51	84	20	284	<10,4681	<0,17034	<5,5726	87	277	3	1077	<0,068523	<0,054248	<0,65797	<0,2048	<0,052506	0	3	9	<0,0054315	<0,01081	
CDC120C_C2_04	I-a	30	<3,744	55	128	11	362	16	<0,16353	<5,3177	85	233	5	470	<0,066193	<0,058728	<0,62997	<0,1617	<0,057872	<0,18229	5	8	<0,02656	<0,01256	
CDC120C_C3_01	I-a	32	<3,633	37	102	18	297	12	<0,16055	<5,6081	81	257	3	755	<0,068221	<0,062049	<0,65129	<0,14785	<0,0451	<0,17287	3	8	<0,017956	0	
CDC120C_C3_02	I-a	31	<3,9901	33	110	11	306	<11,0372	<0,18233	<5,7999	55	229	2	692	<0,074486	<0,059327	<0,71953	<0,24289	<0,056264	<0,21251	2	6	<0,013863	<0,020533	
CDC120C_C3_03	I-a	29	<3,3721	38	123	8	377	<10,3224	<0,17054	<5,3896	42	366	4	437	<0,052648	<0,057573	<0,70266	<0,16829	<0,041458	<0,19566	3	6	<0,0072513	0	
CDC120C_C3_04	I-a	35	<3,8042	36	133	3	432	<10,8872	<0,14779	<5,5755	34	496	5	326	<0,062334	<0,060615	<0,62504	<0,16234	<0,047151	0	3	4	<0,0067668	0	
CDC120C_C4_01	I-a	32	<3,5286	53	108	21	336	11	<0,18549	<5,6446	63	205	4	156	<0,057022	<0,051136	<0,59291	<0,23012	<0,038581	0	2	8	<0,013902	0	
CDC120C_C4_02	I-a	32	<5,908	42	69	25	296	<16,4368	<0,26631	<8,2756	98	401	4	710	<0,10453	<0,10063	<0,94513	<0,41761	<0,077665	<0,27328	3	7	<0,025471	<0,024734	
CDC120C_C4_03	I-a	35	<4,4149	50	122	28	486	<12,1421	<0,18962	<6,3333	81	277	6	94	<0,072989	<0,058167	<0,72619	<0,13483	<0,069141	<0,2636	3	8	<0,023483	0	
CDC120C_C4_04	I-a	28	<3,9965	43	106	23	401	14	<0,17059	<5,4976	73	255	5	127	<0,05635	<0,053195	<0,60485	<0,13671	<0,045468	<0,18567	3	7	<0,016586	0	
CDC121_01	I-b	26	3	173	147	1	459	1	<0,022735	1	2	57	11	60	<0,022435	<0,025316	<0,12407	<0,02868	<0,013643	0	1	2	<0,0055198	0	
CDC121_C3_01	I-b	32	7	328		3	360	<29,6412	2	<9,0718	<0,34008	108	9	55	1	1	<3,132	<1,0238	<0,23288	<0,95689	<0,34178	5	0	0	0
CDC121_C3_02	I-b	<54,3776	<14,0399	260	<2356,5534	7	377	<111,5958	<1,6857	<33,8935	<1,2217	85	8	97	<0,94348	<1,1612	<10,252	<2,0301	<0,93338	<3,2323	<1,0529	10	<0,19008	<0,15671	
CDC121_C2_01	I-b	23	<2,8929	194	886	3	401	<23,4268	<0,33952	<6,8042	2	42	11	60	<0,23718	<0,21557	<2,1499	<0,6288	<0,18933	<0,70818	1	2	<0,043002	<0,035376	
CDC121_C2_02	I-b	31	<3,6208	194	765	4	458	<25,0843	<0,32971	<7,5988	5	62	9	61	<0,28211	<0,29518	<2,188	<0,94884	<0,20322	<0,93615	2	2	<0,13391	<0,040447	
CDC055_C1_01	II	33	18	100	150	2	2545	<14,7114	<0,27437	<8,0101	179														

CDC055_C2_01	II	22	20	118	162	2	2748	<14,806	<0,24336	<7,8837	201	125	35	10	<0,089913	<0,072625	<0,9906	<0,12827	<0,064063	<0,35549	14	1	<0,0079777	0
CDC055_C2_02	II	<20,8639	15	120	195	2	2650	<15,3334	<0,23226	<7,624	171	125	38	2	<0,089595	<0,087801	<0,85875	<0,33697	<0,089194	<0,2787	12	1	<0,02053	<0,0076314
CDC055_C2_03	II	<20,8575	19	131	198	2	2803	<15,5293	<0,26472	<7,8801	201	154	35	19	<0,075	<0,072838	<0,8958	<0,27025	<0,05968	<0,27154	12	1	<0,0081585	0
CDC055_C2_04	II	20	21	132	206	2	2621	<14,2852	<0,21194	<7,0026	175	140	35	2	<0,081894	<0,070029	<0,95889	<0,12775	<0,062043	<0,21566	11	1	<0,018709	<0,0067564
CDC055_C3_01	II	<24,3708	22	135	232	<1,7648	2628	<18,1678	<0,27489	<9,0676	181	163	39	9	<0,09285	<0,07772	<1,2041	0	<0,077712	<0,26282	13	<0,76161	0	0
CDC055_C3_02	II	<23,7016	19	117	151	<1,6497	2954	<17,581	<0,27976	<8,8357	145	139	47	3	<0,073845	<0,077839	<1,0373	<0,33916	<0,088433	<0,24385	9	1	<0,031289	<0,0075127
CDC055_C3_03	II	<23,5361	26	137	243	2	2610	<17,525	<0,26222	<8,4202	153	138	32	4	<0,11335	<0,097356	<0,99239	<0,30882	<0,053726	0	9	1	<0,0092602	<0,017658
CDC055_C3_04	II	<22,9666	18	131	231	<1,6009	2655	<17,3341	<0,26344	<8,491	156	136	34	5	<0,088226	<0,091258	<1,0469	<0,27601	<0,074077	<0,37421	10	1	<0,012518	<0,0101
CDC055_C4_01	II	25	23	120	280	2	2416	<15,7854	<0,25078	<7,4832	193	166	34	8	<0,10308	<0,084815	<0,81307	<0,33421	<0,076007	<0,29347	13	1	<0,022198	<0,027098
CDC055_C4_02	II	<20,8011	21	128	210	2	2763	<15,7724	<0,26073	<7,1746	204	222	46	4	<0,10036	<0,076211	<0,84599	<0,30515	<0,07088	<0,33553	17	<0,62417	<0,010667	0
CDC055_C4_03	II	<21,3483	20	127	234	2	2522	<16,107	<0,27509	<7,4055	154	123	32	9	<0,095285	<0,094461	<0,92992	<0,35456	<0,062347	<0,37152	10	1	0	0
CDC055_C4_04	II	24	18	119	191	2	2241	<14,6868	<0,24132	<6,5995	195	128	30	14	<0,090608	<0,06204	<0,81243	<0,23334	<0,092846	<0,3307	26	1	<0,02526	1
CDC056_01	II	9	17	217	193	1	3165	0	<0,019792	1	187	279	64	2	<0,022439	<0,025749	<0,12013	<0,040127	<0,019015	0	15	1	<0,0037173	0
CDC056_02	II	10	24	146	147	1	3340	1	<0,019762	1	180	258	69	49	<0,022553	<0,023998	<0,10717	<0,053575	<0,017978	0	14	1	0	0
CDC056_03	II	8	23	155	142	1	3622	0	<0,019339	0	115	312	72	2	<0,022525	<0,022642	<0,11466	<0,038121	<0,015031	0	17	2	<0,0035772	<0,0073858
CDC056_04	II	8	24	143	152	1	3582	0	<0,024505	1	207	273	78	2	<0,024101	<0,028644	<0,12737	<0,049556	<0,018281	0	18	1	<0,0064294	<0,0053837
CDC056_05	II	10	18	133	143	1	3354	0	<0,020448	1	214	240	68	8	<0,022506	<0,025808	<0,11653	<0,048806	<0,016587	0	16	1	<0,005996	0
CDC060b_01	II	22	19	95	183	1	2575	1	<0,017352	0	254	130	30	10	<0,018322	<0,019055	<0,091261	<0,032317	<0,009426	0	24	1	<0,0027112	<0,0051673
CDC060b_02	II	19	29	153	202	1	3776	0	<0,014628	1	188	278	75	4	<0,017892	<0,01967	<0,094035	<0,034064	<0,0073276	0	16	1	<0,0025643	0
CDC060b_03	II	17	22	154	151	1	3660	0	<0,015716	0	213	277	73	2	<0,015378	<0,019455	<0,094922	<0,014442	<0,010311	0	19	1	<0,0027466	<0,0023048
CDC060b_04	II	32	46	138	248	1	3350	1	0	1	192	233	64	16	<0,017204	<0,020324	<0,090742	<0,023242	<0,0071983	0	15	1	0	0
CDC060b_05	II	15	21	160	131	0	3803	0	0	1	163	235	71	2	<0,015947	<0,020223	<0,094379	<0,038169	<0,007415	0	47	1	<0,0045568	0
CDC060b_06	II	22	21	136	178	1	2830	1	0	1	244	215	106	11	<0,017337	<0,018097	<0,09599	<0,026398	<0,0069322	0	27	1	<0,0025572	0
CDC060b_C1_01	II	21	18	92	<172,2505	4	2515	<15,0834	<0,17572	<4,0237	277	107	24	9	<0,14095	<0,10268	<1,2588	<0,41007	<0,099736	<0,3728	25	1	<0,049238	<0,048545
CDC060b_C4_01	II	19	21	150	<1737,3951	3	3577	<15,4739	<0,19858	<3,9924	204	251	71	<1,7112	<0,16946	<0,13795	<1,2694	<0,44283	<0,12475	<0,42931	15	1	<0,028419	<0,023539
CDC060b_C4_02	II	20	19	77		4	2164	<14,9516	<0,1749	<3,7327	246	66	18	13	<0,1481	<0,12151	<1,2538	<0,41916	<0,14308	<0,37455	15	1	<0,04866	<0,021044
CDC060b_C4_03	II	21	16	93	688	3	1998	<16,293	<0,19749	<4,3724	256	86	16	18	<0,14701	<0,14802	<1,4758	<0,49367	<0,10942	<0,52831	14	1	<0,028031	<0,023365
CDC060b_C4_04	II	23	20	80	447	3	2308	<17,6706	<0,19916	<4,8699	257	78	18	27	<0,17741	<0,17976	<1,5944	<0,39321	<0,10991	<0,58711	15	1	<0,026955	<0,022554
CDC060b_C2_01	II	15	20	154	177	3	3489	<15,0375	<0,18927	<4,157	205	266	73	<1,3942	<0,134827	<0,13362	<1,3735	<0,42794	<0,098868	<0,36223	14	0	<0,050334	<0,022128
CDC060b_C2_02	II	15	18	152	140	4	3813	<17,8002	<0,18195	<5,1163	187	252	73	<1,7952	<0,21814	<0,16955	<1,7663	<0,67359	<0,14158	<0,50282	14	1	<0,030621	<0,02601
CDC060b_C2_03	II	22	22	154	200	3	3456	<18,5004	<0,22943	<5,1489	181	245	64	<1,7078	<0,17103	<0,1836	<1,905	<0,5899	<0,17711	<0,63087	15	1	<0,028655	<0,02443
CDC061_01	II	42	28	139	458	2	2624	1	0	4	225	275	37	4	<0,013216	<0,014458	<0,064789	<0,021996	<0,0037429	1	57	2	0	0
CDC061_02	II	34	24	100	352	3	2671	0	<0,013763	1	181	218	34	11	<0,013396	<0,01466	<0,068864	<0,023544	<0,0040058	0	15	1	<0,0030237	0
CDC061_03	II	36	23	109	262	2	2784	4	0	1	246	219	42	118	0	0	<0,061902	<0,019871	<0,0030373	0	36	1	0	0
CDC061_04	II	35	35	122	539	2	2907	1	<0,013268	2	275	416	43	6	<0,013131	<0,013891	<0,067124	<0,019454	<0,0044575	0	41	1	<0,0016953	0
CDC061_05	II	32	23	90	254	2	2581	1	0	0	215	165	34	18	<0,012598	<0,014432	<0,064315	<0,014837	<0,003997	0	25	1	<0,0017117	0
CDC061_06	II	35	27	134	454	2	2765	1	<0,015019	2	295	311	42	4	<0,013619	<0,015319	<0,069094	<0,022177	<0,0044704	0	49	1	<0,0017922	<0,0039329
CDC061_07	II	45	20	105	256	2	2926	0	<0,012636	1	252	198	43	13	<0,012739	<0,016454	<0,068548	<0,0094192	<0,0031325	0	32	1	<0,0018168	<0,002362
CDC061_08	II	33	27	117	307	2	3282	1	0	1	251	437	102	13	<0,01226	<0,015829	<0,066339	<0,018118	<0,0041918	0	92	1	<0,0017558	0
CDC061_09	II	39	25	107	356	2	3128	1	<0,011954	1	244	304	50	12	<0,011901	<0,013712	<0,061902	<0,016914	<0,0048226	0	125	1	<0,0016073	<0,0021516
CDC061_10	II	37	22	102	223	2	2969	0	<0,012303	1	338	210	46	12	<0,012429	<0,014348	<0,057335	<0,017341	<0,0025077	0	34	1	<0,0028505	<0,0031261
CDC061_11	II	40	24	97	305	2	2613	1	<0,013907	1	262	208	37	15	<0,01279	<0,015584	<0,066238	0	<0,0038272	0	29	1	<0,0035961	0
CDC061_12	II	38	22	106	481	2	2787	3	0	1	257	190	38	12	0	0	<0,073193	0	0	0	34	1	<0,004031	0
CDC064_C1_01	II	183	23	197	239	2	3420	<8,6617	<0,073757	<0,83505	190	228	59	1	<0,046631	<0,027137	<0,33152	<0,10711	<0,029042	0	15	1	<0,0092558	0
CDC064_C1_02	II	130	13	149	133	2	3197	<9,1169	<0,050426	1	170	183	63	1	<0,039833	<0,039095	<0,35775	<0,12483	<0,029008	<0,11355	47	1	<0,006843	<0,0054858
CDC064_C1_03	II	136	15	188	156	2	3861	<9,5734	<0,070537	<0,74805	253	266	72	<0,4471	<0,045886	<0,020471	<0,23828	<0,038023	<0,031928	0	21	1	<0,0179	<0,0053884
CDC064_C1_04	II	136	16	192	134	2	4279	<9,5027	<0,077123	<0,67799	260	214	79	1	<0,048141	<0,028452	<0,38936	<0,1434	<0,034414	0	16	1	<0,0082963	0
CDC064_C2_01	II	119	16	175	168	2	3303	<8,6134	<0,066545	<0,5433	192	188	56	1	<0,039805	<0,022596	<0,31424	<0,09297	<0,028429	0	16	1	<0,0066537	0
CDC064_C2_02	II	136	17	183	185	2	3558	<9,1166	<0,051964	<0,69613	236	255	66	2	<0,049037	<0,024438	<0,25205	<0,10						

CDC064_C3_01	II	146	18	184	200	1	3341	<9,1917	<0,070556	1	157	182	55	1	<0,041916	<0,018366	<0,31036	<0,10378	<0,033676	0	14	1	<0,0073414	0
CDC064_C3_02	II	142	16	176	131	2	4136	<10,0147	<0,066441	<0,69944	245	253	78	1	<0,049786	<0,027464	<0,34117	<0,15374	<0,022923	0	17	0	<0,018447	<0,007986
CDC064_C3_03	II	150	15	108	107	2	2765	<10,3635	<0,09117	<0,68219	193	190	71	1	<0,055031	<0,024648	<0,34014	<0,20136	<0,035491	<0,12886	60	1	<0,010296	<0,0082862
CDC045a_C2_01	III	46	21	134	244	2	3311	<17,5552	<0,23748	<7,9171	248	152	37	<1,8928	<0,10075	<0,092158	<1,0611	<0,32047	<0,082733	<0,29427	15	<0,71046	<0,04077	<0,060232
CDC045a_C2_02	III	32	23	136	247	2	3196	<17,399	<0,26822	<7,6661	265	179	37	<1,9756	<0,11083	<0,092137	<1,084	<0,20049	<0,066443	<0,32347	27	<0,7037	<0,011749	0
CDC045a_C2_03	III	43	20	123	218	3	3210	<17,6546	<0,27039	<7,9527	219	175	36	<1,8013	<0,10004	<0,091122	<1,1224	<0,31416	<0,083056	<0,28825	18	<0,71503	<0,011527	0
CDC045a_C2_04	III	38	18	138	231	2	3060	<17,5244	<0,2586	<7,765	249	182	47	<1,7871	<0,10961	<0,092452	<0,94775	<0,19762	<0,064109	<0,28013	24	<0,69189	<0,011208	<0,019663
CDC045a_C4_01	III	37	22	125	235	<1,458	2972	<16,6563	<0,2427	<7,2198	212	185	48	<1,8595	<0,097289	<0,057818	<0,93837	<0,25674	<0,087655	<0,37832	29	<0,68956	<0,013634	<0,010994
CDC045a_C4_02	III	37	13	108	181	2	3038	<16,7723	<0,24041	<7,5235	239	166	38	<1,9413	<0,080538	<0,083778	<0,91073	<0,17668	<0,096993	<0,22302	20	<0,69702	<0,00933	<0,0075236
CDC108_C1_01	III	28	15	133	184	2	2753	<7,6539	<0,073127	<0,66693	230	239	60	2	<0,040653	<0,016109	<0,34584	<0,074632	<0,038507	0	16	1	<0,0074521	0
CDC108_C1_02	III	30	16	95	274	2	1928	<7,8626	<0,066177	1	251	139	27	20	<0,048601	<0,027041	<0,34433	<0,085487	<0,026526	0	13	1	<0,0071734	1
CDC108_C1_03	III	30	15	152	215	2	2966	<7,9029	<0,068787	1	244	232	60	2	<0,044185	<0,02788	<0,3233	<0,094128	<0,023348	0	18	1	<0,0079213	0
CDC108_C1_04	III	29	15	141	229	2	2801	<7,7302	<0,069324	1	212	211	53	1	<0,049714	<0,030605	<0,29651	<0,094598	<0,027007	0	16	1	<0,016908	1
CDC108_C2_01	III	25	16	68	235	2	1573	<7,7165	<0,057951	<0,67066	260	74	19	17	<0,041109	<0,017506	<0,27135	<0,072348	<0,025842	0	23	1	<0,0067123	0
CDC108_C2_02	III	17	18	147	181	2	3405	<7,8809	<0,053174	1	257	263	71	<0,4049	<0,042109	<0,02281	<0,29257	<0,08768	<0,026947	0	17	1	<0,011225	0
CDC108_C4_01	III	32	14	133	245	2	2968	<8,0171	<0,065735	<0,61869	242	246	62	3	<0,050014	<0,02597	<0,35539	<0,10263	<0,030408	0	18	1	<0,007656	0
CDC108_C4_02	III	23	20	125	219	2	3333	<9,0478	<0,075308	1	238	258	63	0	<0,038693	<0,032394	<0,32885	<0,047687	<0,029752	<0,15156	16	1	<0,0084795	0
CDC108_C4_03	III	30	15	124	219	2	2957	<9,5243	<0,072946	<0,72537	240	239	62	1	<0,053069	<0,031396	<0,3243	<0,099898	<0,026944	0	16	1	<0,014556	<0,0055128
CDC111_C1_01	III	24	9	169	139	<1,7106	4672	<18,1711	<0,22622	<7,8869	225	656	165	<1,8421	<0,095464	<0,09936	<1,0312	<0,19857	<0,073085	0	20	3	<0,010913	<0,02956
CDC111_C1_02	III	<16,1897	11	45	177	<1,5424	1876	<16,9805	<0,22617	<7,5587	120	218	10	39	<0,087464	<0,073663	<1,0032	<0,16768	<0,079689	<0,21376	34	7	<0,039687	<0,009992
CDC111_C1_03	III	<16,7943	15	170	292	<1,6311	4574	<17,1139	<0,24577	<7,6671	216	1104	147	<2,053	<0,091888	<0,080201	<0,97356	<0,19879	<0,062881	0	27	2	<0,023922	<0,0091438
CDC111_C1_04	III	<17,5704	9	144	159	<1,658	4903	<17,8788	<0,2583	<8,074	192	621	170	<1,9512	<0,095423	<0,0919	<1,0889	<0,29637	<0,080216	<0,32303	16	2	<0,037589	<0,019689
CDC111_C2_01	III	<18,2204	10	45	188	<1,6175	929	21	<0,24351	<8,1918	50	140	4	223	<0,099108	<0,0982	<1,0533	<0,25256	<0,053477	<0,2791	19	9	<0,013694	<0,011058
CDC111_C2_02	III	<18,3206	13	42	185	<1,6338	1075	21	<0,24962	<8,1479	65	149	5	235	<0,11376	<0,10537	<0,97543	<0,2681	<0,078376	<0,30351	23	8	<0,026374	<0,010784
CDC111_C3_01	III	<24,7958	13	117	140	<2,2468	3835	<24,6012	<0,33472	<11,0646	193	292	141	3	<0,13866	<0,11804	<1,3159	<0,34528	<0,11109	0	48	6	<0,018754	<0,015143
CDC111_C3_02	III	<23,3649	11	149	242	<2,0987	4271	<22,8243	<0,301	<10,3618	210	517	152	3	<0,13542	<0,12737	<1,4076	<0,33008	<0,089593	<0,36261	22	5	<0,048625	<0,015104
CDC124_01	III	86	20	57	124	2	3091	1	<0,0098102	0	188	303	68	1	<0,0092779	<0,0096937	<0,037583	<0,011889	<0,0027598	0	50	1	<0,0011506	<0,0032058
CDC124_02	III	58	20	110	226	1	7090	1	<0,0112	0	41	494	1932	3	<0,011129	<0,012341	<0,050528	0	<0,0035473	0	10	2	<0,0023034	<0,0029339
CDC124_03	III	79	20	102	124	2	4463	1	<0,0087721	0	198	512	807	1	<0,0097122	<0,0093485	<0,043101	<0,010618	<0,0018306	0	48	1	<0,001904	0
CDC124_04	III	71	20	105	128	2	3107	1	<0,01017	0	221	559	87	1	<0,010084	<0,010511	<0,043439	<0,012676	<0,0021844	0	60	1	<0,001207	<0,0026186
CDC124_05	III	80	21	59	161	2	3210	1	0	1	240	397	75	1	<0,0099569	<0,010314	<0,041544	<0,0127	<0,0023736	0	51	2	0	0
CDC124_06	III	169	20	99	113	1	2883	1	<0,011388	0	224	625	63	1	<0,011067	<0,011953	<0,047334	<0,01393	<0,0018534	0	50	2	<0,002242	<0,002459
CDC124_07	III	85	18	54	133	2	3203	1	<0,0095697	1	239	394	79	1	<0,0090296	<0,011023	<0,040808	<0,013936	<0,0022069	0	73	1	<0,0028913	0
CDC124_08	III	71	21	66	125	1	3132	1	<0,010464	1	241	377	75	4	<0,010463	<0,011897	<0,043618	<0,015587	<0,0023119	0	50	1	<0,0030206	0
CDC124_09	III	58	18	97	269	1	2376	2	<0,011571	0	37	513	104	15	<0,012621	<0,014848	<0,056997	<0,019791	0	0	9	5	<0,0033397	0
CDC124_10	III	44	17	84	231	1	2352	1	0	0	32	481	118	13	<0,011766	<0,014242	<0,056938	<0,016413	<0,0032628	0	6	5	<0,002596	0
CDC124_11	III	151	18	92	122	1	7107	1	<0,010864	0	81	567	1830	1	<0,011128	<0,011418	<0,046352	<0,015125	<0,0027588	0	16	1	<0,0036648	0
CDC124_12	III	133	19	98	112	1	6818	1	<0,010769	0	73	537	1370	1	<0,011017	<0,012277	<0,048576	<0,0194	<0,0024642	0	15	1	<0,002267	<0,0016857
CDC124_C5_01	III	101	17	123	136	3	6970	<20,9516	<0,25962	<6,8097	83	512	2178	<1,9937	<0,25859	<0,22565	<2,1071	<0,62546	<0,24574	<0,56457	15	1	<0,041753	<0,031906
CDC124_C5_02	III	78	20	87	145	3	3747	<25,5962	<0,32556	<7,958	73	356	75	<2,2413	<0,27538	<0,27465	<2,8249	<0,91002	<0,2583	<0,78861	16	2	<0,10832	<0,044647
CDC124_C5_03	III	122	18	106	141	3	5305	<20,8024	<0,32093	<6,6353	62	509	481	3	<0,15447	<0,21202	<2,2021	<0,55986	<0,21144	<0,6047	15	2	<0,04453	<0,034165
CDC124_C5_04	III	285	18	114	130	2	6350	<24,5218	<0,29125	<7,0977	60	628	1111	<1,7475	<0,23518	<0,2431	<2,2094	<0,77127	<0,24079	<0,66223	14	2	<0,087962	<0,034058
CDC038_C1_01	IV	14	18	182	199	2	6278	<11,3942	<0,056544	<0,65705	186	486	245	21	<0,042115	0	<0,18707	<0,11458	<0,024104	0	51	4	<0,011703	0
CDC038_C1_02	IV	15	22	183	285	2	5327	<11,849	<0,048215	0	229	608	193	3	<0,032409	<0,028182	<0,22585	<0,057279	<0,019624	0	29	1	0	0
CDC038_C2_01	IV	9	24	189	209	2	6914	<8,957	<0,036161	<0,39859	219	671	345	1	<0,023667	0	<0,15984	<0,03334	<0,013066	0	42	1	<0,0062771	0
CDC038_C2_02	IV	13	29	208	264	2	6589	<10,6813	<0,046073	<0,50237	187	485	291	2	<0,028377	<0,019441	<0,13386	<0,039898	<0,023097	0	31	1	<0,0075131	<0,0044104
CDC038_C2_03	IV	20	15	195	171	2	5912	<11,6409	<0,041676	<0,56118	186	517	312	6	<0,036914	0	<0,21857	<0,10252	<0,024865	0	67	3	<0,02151	<0,009637
CDC038_C3_01	IV	20	25	193	249	2	5790	<11,2457	<0,04757	<0,41069	195	4												

CDC038_C3_04	IV	11	25	172	325	2	6090	<10,666	<0,053472	0	189	499	288	1	<0,034842	<0,015384	<0,15151	<0,072756	<0,021487	<0,077102	30	1	<0,0073816	<0,0043161
CDC039_C1_01	IV	71	20	136	<-1,6754	59	4931	<12,1642	<0,056213	<-0,41527	175	421	93	2	<-0,013641	<0,030214	<-0,11243	<0,04532	<0,0084037	<-0,1175	13	1	<-0,0097784	0
CDC039_C1_02	IV	36	17	132	<-0,80291	47	2955	<6,77	<-0,03757	<-0,28683	133	320	46	<-0,32428	<-0,022017	<-0,013652	<-0,053917	<-0,026775	<-0,0092307	0	12	0	<-0,010748	0
CDC039_C1_03	IV	77	20	172	<-1,1942	53	4034	<11,4517	<-0,056	<-0,52034	96	201	44	<-0,42239	<-0,040816	<-0,02194	<-0,13571	<-0,10632	<-0,019731	<-0,087836	8	0	<-0,0084837	0
CDC039_C2_01	IV	43	23	144	<-0,96097	64	5009	<-10,8168	<-0,057162	<-0,49363	217	487	87	1	<-0,043149	<-0,025345	<-0,12802	<-0,095675	<-0,021674	0	19	0	<-0,020753	<-0,0053331
CDC039_C2_02	IV	91	25	155	<-0,98727	42	4433	<12,4729	<-0,049991	<-0,64544	201	424	69	1	<-0,027216	<-0,024708	<-0,14649	<-0,047047	<-0,019374	0	16	0	<-0,010214	<-0,0055738
CDC039_C3_01	IV	57	17	117	<-0,52279	40	3733	<6,8211	<-0,030567	0	181	335	65	0	<-0,022048	<-0,017139	<-0,088103	<-0,048038	<-0,014044	0	14	0	<-0,0056207	<-0,0030664
CDC039_C3_02	IV	41	15	98	<-0,36227	31	3246	<5,0282	<-0,020963	0	157	329	61	1	<-0,017778	<-0,0077865	<-0,064257	<-0,032729	<-0,0060891	0	13	0	<-0,0035867	0
CDC039_C4_01	IV	78	22	148	<-0,80879	37	4550	<11,6348	<-0,063754	1	224	381	73	4	<-0,043545	<-0,0088511	<-0,1423	<-0,041769	<-0,014451	0	16	1	<-0,0091062	0
CDC039_C4_02	IV	77	23	148	<-0,78008	35	4379	<11,9143	<-0,057344	<-0,48422	204	371	67	1	<-0,014268	<-0,034818	<-0,11745	<-0,082514	<-0,024161	0	17	0	<-0,0096949	<-0,0052858
CDC039_C4_03	IV	72	14	95	<-0,32286	13	2741	<5,9424	<-0,029596	0	137	266	51	1	<-0,027325	<-0,013208	<-0,081183	<-0,043389	<-0,010622	0	13	0	<-0,0055397	0
CDC074_C1_01	IV	44	20	188	<-0,21376	<-3,9011	7350	9	<-0,055924	<-0,55623	185	469	553	25	<-0,036722	<-0,019233	<-0,17944	<-0,036617	<-0,019685	<-0,09303	46	2	<-0,0075828	<-0,0041673
CDC074_C1_02	IV	52	17	169	<-0,16511	<-3,4713	6078	<6,4224	<-0,037993	<-0,35055	189	413	395	24	<-0,026348	<-0,010286	<-0,12138	<-0,066911	<-0,015989	<-0,065928	54	2	<-0,0053468	<-0,002937
CDC074_C1_03	IV	53	21	193	<-0,22484	<-5,4198	8193	<8,8014	<-0,055829	<-0,50964	226	576	589	30	<-0,032604	<-0,0061049	<-0,15384	<-0,036911	<-0,017473	0	54	2	<-0,01825	<-0,0042182
CDC074_C2_01	IV	56	25	344	<-0,27167	<-7,3134	7257	<10,2553	<-0,064319	<-0,53606	123	484	327	10	<-0,036574	<-0,018489	<-0,17951	<-0,069464	<-0,030037	0	131	2	<-0,0072918	<-0,0040033
CDC074_C2_02	IV	97	21	286	<-0,2597	<-8,1048	4559	<9,3711	<-0,05391	<-0,6451	255	495	110	56	<-0,045409	0	<-0,18877	<-0,11695	<-0,011957	0	62	1	<-0,0070917	0
CDC074_C2_03	IV	63	26	242	<-0,30135	<-10,4068	4595	<10,7885	<-0,071852	<-0,57768	291	691	133	105	<-0,044585	<-0,024875	<-0,19057	<-0,098664	<-0,020054	<-0,091318	56	1	<-0,01765	<-0,0057647
CDC074_C2_04	IV	100	23	204	<-0,31142	<-13,4991	7301	<11,2923	<-0,055297	<-0,50559	245	559	385	39	<-0,043203	<-0,020264	<-0,20312	<-0,036013	<-0,018612	0	82	2	<-0,0075386	<-0,0041364
CDC074_C3_01	IV	113	21	194	<-0,23653	<-30,3541	6809	<8,5075	<-0,056805	<-0,45409	151	349	335	21	<-0,035836	<-0,021808	<-0,17165	<-0,036245	<-0,019596	0	30	2	<-0,0076173	<-0,0041771
CDC074_C3_02	IV	64	19	192	<-0,21187	<-84,6982	6711	<7,5064	<-0,037449	<-0,46504	177	456	427	22	<-0,02877	<-0,01296	<-0,13328	<-0,029175	<-0,015651	0	29	2	<-0,0061406	<-0,0083765
CDC074_C4_01	IV	75	23	213	<-0,31429	455	7816	<11,2427	<-0,065223	<-0,55112	243	547	406	44	<-0,04108	<-0,029427	<-0,19478	<-0,14035	<-0,027056	<-0,10273	54	2	<-0,0085933	<-0,0047102
CDC074_C4_02	IV	67	21	194	<-0,29913	162	6721	<10,6811	<-0,054109	<-0,53881	228	484	422	33	<-0,042557	<-0,02505	<-0,17363	<-0,041071	<-0,018782	<-0,083546	51	2	<-0,0086702	<-0,0047513
CDC074_C5_01	IV	221	16	155	<-0,23133	134	5543	<8,3249	<-0,050781	<-0,44925	168	553	293	60	<-0,037709	<-0,025887	<-0,14184	<-0,028096	<-0,01238	<-0,1053	64	3	<-0,016096	0
CDC074_C5_02	IV	75	14	108	<-0,1557	48	4169	<5,6214	<-0,034693	<-0,32413	144	362	258	27	<-0,019212	<-0,0087551	<-0,10109	<-0,025298	<-0,0094534	0	50	1	<-0,0053539	<-0,0029329
CDC074_C5_03	IV	130	20	180	<-0,2407	85	6386	<8,6464	<-0,041798	<-0,30613	199	471	303	58	<-0,030353	0	<-0,14606	<-0,087124	<-0,014648	0	63	2	<-0,0064852	<-0,0035518
CDC074_C5_04	IV	100	12	61	<-0,27977	164	1548	37	0	<-0,42393	36	185	36	1153	0	0	<-0,16848	<-0,062177	<-0,018735	<-0,083205	14	1	0	0
CDC074_C5_05	IV	191	17	47	<-0,2224	235	5668	<7,6141	0	1	78	521	256	1748	<-0,034036	<-0,020814	0	<-0,10549	<-0,015618	0	35	2	<-0,0073314	<-0,0040128
CDC075_C1_01	IV	190	24	178	424	1	3272	<4,9419	<-0,018909	0	150	329	79	20	<-0,011223	<-0,0099816	<-0,10514	<-0,063507	<-0,0076752	0	20	1	<-0,0033345	0
CDC075_C1_02	IV	222	17	100	156	3	2885	<4,6846	<-0,01823	0	222	285	74	129	<-0,014914	<-0,0024531	<-0,10126	<-0,017381	<-0,0080576	0	28	1	<-0,0031102	0
CDC075_C1_03	IV	126	16	170	175	1	3192	<4,3498	<-0,025258	0	223	375	164	16	<-0,0124	<-0,0066617	<-0,10276	<-0,017811	<-0,0087372	0	24	1	<-0,0031812	<-0,0020843
CDC075_C1_04	IV	192	25	207	371	2	4202	<6,4906	<-0,028882	<-0,37781	193	381	202	21	<-0,01804	<-0,0047112	<-0,16114	<-0,056327	<-0,012571	0	24	1	<-0,0059702	<-0,0039134
CDC075_C2_01	IV	163	19	160	544	1	3120	<3,9337	0	0	175	362	529	22	<-0,011431	<-0,0059399	<-0,072577	<-0,017407	<-0,0083513	0	18	1	<-0,0030914	0
CDC075_C2_02	IV	209	21	200	435	2	3975	<6,1345	<-0,023763	1	247	465	123	29	<-0,016988	<-0,0090688	<-0,14009	<-0,023403	<-0,011971	0	27	1	<-0,0041485	<-0,0027214
CDC075_C2_03	IV	200	21	187	452	2	3792	<5,7322	<-0,029005	1	219	424	477	27	<-0,01205	<-0,010747	<-0,12377	<-0,029608	<-0,011151	0	24	1	<-0,005234	<-0,0034349
CDC075_C2_04	IV	237	26	215	528	2	4267	<6,9043	<-0,024604	1	253	516	237	31	<-0,020905	<-0,0086242	<-0,105	<-0,055513	<-0,011274	0	28	1	<-0,0054178	<-0,0035592
CDC075_C3_01	IV	269	23	298	169	3	3579	<8,5013	<-0,032782	<-0,42797	215	300	417	138	<-0,024228	<-0,011647	<-0,20512	<-0,043755	<-0,016965	0	27	3	<-0,0076573	0
CDC075_C3_02	IV	307	34	245	736	2	4295	<8,6347	<-0,051746	1	235	489	98	40	<-0,019715	<-0,016108	<-0,14779	<-0,034912	<-0,019504	0	32	1	<-0,0060987	<-0,0040099
CDC075_C3_03	IV	230	25	156	221	2	3143	<8,2057	<-0,041138	0	263	303	218	71	<-0,016191	<-0,018407	<-0,15516	<-0,091522	<-0,015672	0	37	1	<-0,0067141	<-0,0044164
CDC075_C3_04	IV	278	22	136	181	3	3686	<8,3156	<-0,038722	0	257	326	112	144	<-0,025167	<-0,019772	<-0,12676	<-0,039225	<-0,015944	0	23	1	<-0,0068217	0
CDC075_C4_01	IV	224	25	176	187	2	3153	<8,0362	<-0,039508	<-0,36766	201	308	1003	67	<-0,020554	<-0,017013	<-0,16494	<-0,030523	<-0,01783	0	26	1	<-0,0052894	<-0,0034822
CDC075_C4_02	IV	298	23	274	218	2	5516	<8,035	<-0,035395	<-0,44536	202	548	271	88	<-0,017072	<-0,021221	<-0,17236	<-0,034879	<-0,014826	<-0,091504	58	2	<-0,0060338	<-0,0039733
CDC075_C4_03	IV	174	24	309	394	1	4930	<9,0553	<-0,040578	1	251	505	111	26	0	0	<-0,15485	<-0,1169	<-0,018566	0	54	1	<-0,0069037	0
CDC075_C4_04	IV	216	26	317	503	1	4324	45	<-0,033271	<-0,47061	221	535	137	27	<-0,029961	<-0,011515	<-0,15917	<-0,075457	<-0,017055	0	53	1	<-0,012997	<-0,0047744
CDC079_C1_01	IV	40	13	168	80	1	4732	<2,8653	<-0,013475	0	129	249	202	1	<-0,0091309	<-0,0056485	<-0,068553	<-0,0092482	<-0,0061702	0	14	0	<-0,0052894	<-0,001362
CDC079_C1_02	IV	72	12	150	101	1	4892	<3,0746	<-0,017817	0	108	216	163	0	<-0,010588	<-0,0058584	<-0,075029	<-0,015588	<-0,0079027	0	12	0	<-0,0030595	0
CDC079_C1_03	IV	50	12	146	107	1	4846	<2,7925	<-0,013538	0	124	241	171	0	<-0,0084401	<-0,0061626	<-0,059763	<-0,0089261	<-0,0075314	0	14	0	<-0,0017458	0
CDC079_C1_04	IV	48	13	162	93	1	5375	<3,0296	<-0,016133															

CDC079_C2_01	IV	61	14	220	115	1	5764	<5,3872	<0,028952	<0,27098	136	250	283	1	<0,01452	<0,013167	<0,094628	<0,027733	<0,011369	0	21	1	<0,0051017	0
CDC079_C2_02	IV	57	14	140	172	1	4423	<5,2383	<0,025445	<0,28313	95	224	222	120	<0,016595	0	<0,10795	<0,024882	<0,00884	<0,0505	30	1	<0,0045632	0
CDC079_C3_01	IV	54	14	112	84	1	8210	<3,3423	<0,015541	<0,14103	84	307	662	1	<0,01069	<0,0070939	<0,084768	<0,011495	<0,0073058	0	46	0	<0,0022351	0
CDC079_C3_02	IV	72	11	123	142	1	3287	<3,7287	<0,019794	<0,21424	48	311	150	7	<0,0081793	<0,0099638	<0,059328	<0,012154	<0,0053097	0	52	1	<0,0023551	0
CDC079_C3_03	IV	28	11	83	854	1	1631	3	0	0	41	194	46	8	<0,01211	0	<0,068539	<0,024078	<0,007446	0	41	2	<0,0024962	4
CDC079_C4_01	IV	74	11	163	139	1	4624	<5,7253	<0,025483	<0,29909	75	337	234	2	<0,023466	<0,012422	<0,13978	<0,052526	<0,017702	0	47	2	<0,011664	0
CDC079_C4_02	IV	52	10	65	50	2	1673	<3,553	0	<0,17912	27	121	13	167	<0,012879	0	<0,076207	<0,034565	<0,0095049	0	12	0	<0,0032562	0
CDC079_C4_03	IV	75	14	191	165	1	4836	<5,692	<0,030142	<0,28621	111	287	232	34	<0,017088	<0,008531	<0,10416	<0,023609	<0,0088036	0	34	1	<0,0044733	0
CDC079_C4_04	IV	46	14	133	238	1	2762	<4,1577	<0,02249	<0,25085	79	198	108	54	<0,012974	0	<0,098656	<0,028599	<0,010702	0	24	1	<0,0053836	0
CDC079_C5_01	IV	179	15	147	89	1	6168	<4,9042	<0,019139	<0,22487	32	278	241	1	<0,019057	<0,013485	<0,096932	<0,03696	<0,0064461	0	52	1	<0,0037277	0
CDC079_C5_02	IV	59	17	155	107	1	10788	<4,6991	<0,025166	<0,22445	100	399	684	1	<0,014071	0	<0,086829	<0,031281	<0,0075552	0	52	1	<0,0027636	0
CDC079_C6_01	IV	162	15	196	135	1	6448	<5,7651	<0,024365	<0,26681	34	307	386	2	<0,010989	0	<0,14372	<0,058977	<0,011213	0	58	2	<0,0044057	0
CDC079_C6_02	IV	68	19	178	114	1	11118	<6,1524	<0,02563	<0,22847	137	481	722	2	<0,023228	<0,014828	<0,14012	<0,06632	<0,013286	0	54	1	<0,0039616	<0,0025802
CDC079_C6_03	IV	50	19	187	126	1	12174	<6,6	<0,026966	<0,30422	151	468	622	2	<0,019402	<0,010696	<0,14576	<0,020572	<0,0095174	0	55	1	<0,0038	0
CDC084_C1_01	IV	54	21	251	<0,49516	12	5613	<9,8234	<0,048245	<0,45119	210	248	114	1	<0,038758	<0,021339	<0,10939	<0,037307	<0,019405	0	25	0	<0,0082767	<0,0045015
CDC084_C1_02	IV	48	18	189	<0,32978	8	3996	<6,5634	<0,027499	<0,33089	136	136	61	1	<0,031342	<0,015941	<0,070979	<0,025453	<0,014768	0	13	0	<0,0056559	0
CDC084_C2_01	IV	82	26	242	<-1,248	12	6074	<24,0419	<0,11889	<1,1161	235	241	103	1	<0,12447	<0,072307	<0,34926	<0,091636	<0,030849	<0,19222	24	<0,38694	<0,020417	<0,011097
CDC084_C2_02	IV	56	20	218	<-1,369	10	5090	<26,8257	<0,13736	<-1,3783	179	229	102	1	<0,10852	<0,061237	<0,30289	<0,086808	<0,050599	<0,33269	24	1	<0,019363	<0,026179
CDC084_C3_01	IV	47	19	180	<-0,97884	10	4540	<18,877	<0,074342	1	184	210	85	1	<0,090291	<0,021089	<0,23852	<0,14132	<0,015976	0	24	0	<0,019005	<0,010324
CDC084_C3_02	IV	73	28	279	<-1,1767	9	4494	<22,4192	<0,10378	<0,97081	226	191	78	2	<0,06704	<0,037222	<0,20457	<0,13099	<0,047711	0	20	<0,38601	<0,014301	<0,0077673
CDC084_C3_03	IV	48	26	184	<-0,98737	11	4875	<18,8046	<0,069161	<0,8386	217	250	98	18	<0,047192	<0,029741	<0,16139	<0,049054	<0,031734	<0,12093	24	1	0	0
CDC084_C4_01	IV	69	23	256	<-0,8293	10	6052	<14,9297	<0,059735	<0,77257	247	205	86	2	<0,069352	<0,037473	<0,14608	<0,048099	<0,0090562	0	20	0	<0,01081	0
CDC084_C4_02	IV	120	25	298	<-0,5959	8	4329	<10,5262	<0,050046	<0,54562	198	168	70	2	<0,055705	0	<0,13451	<0,066957	<0,014933	0	18	0	<0,0083709	0
CDC085_01	IV	16	88	500	1138	1	8037	1	<0,017876	0	121	543	380	66	<0,013862	0	<0,079402	<0,019974	<0,0047388	0	48	1	<0,002253	<0,0061665
CDC085_02	IV	19	53	480	1029	1	6681	7	0	0	112	435	368	71	2	3	0	<0,03005	<0,004661	0	48	8	0	0
CDC085_03	IV	39	23	76	554	1	1967	6	0	0	56	84	10	63	<0,014892	<0,018955	<0,087507	<0,021305	<0,0041897	0	59	5	<0,0024325	0
CDC085_04	IV	49	27	81	459	1	1680	15	0	0	46	150	9	114	<0,014588	<0,018467	<0,088567	<0,011905	<0,0059676	0	44	12	<0,002282	0
CDC085_05	IV	19	35	461	729	1	7843	2	<0,018886	1	149	391	221	21	0	0	<0,09131	<0,029765	<0,005457	0	39	2	<0,0025544	0
CDC085_06	IV	16	41	461	665	1	7915	1	<0,022887	1	152	377	228	15	<0,019953	<0,023668	<0,10756	<0,028571	<0,0073717	0	36	2	<0,0035018	<0,0056265
CDC085_07	IV	15	68	509	1075	1	8077	1	<0,018547	0	124	545	390	64	0	0	<0,091118	<0,027387	<0,005157	0	50	2	<0,0044936	0
CDC085_08	IV	50	31	364	676	1	6001	12	0	1	169	463	131	47	1	1	<0,086782	<0,024226	0	0	36	9	0	0
CDC085_09	IV	27	52	424	755	1	8935	2	<0,016805	1	189	1086	293	42	<0,016167	<0,019007	<0,089318	<0,028036	<0,0022228	0	69	2	<0,004155	0
CDC085_10	IV	58	20	256	440	1	5893	6	0	0	102	459	93	69	0	0	<0,10087	<0,027954	<0,006488	0	68	5	0	0
CDC123_01	IV	9	37	131	481	1	6302	0	<0,010244	1	282	2524	290	6	<0,0093794	<0,0099478	<0,040401	<0,016012	<0,0028368	0	60	1	<0,0014466	<0,0023539
CDC123_02	IV	10	30	162	368	1	6956	2	<0,010298	1	208	1347	673	30	<0,010833	<0,011142	<0,039973	<0,013593	<0,0024016	0	52	4	<0,0015569	<0,0019711
CDC123_03	IV	8	28	140	393	1	6215	2	0	0	259	1551	293	8	0	0	<0,043265	<0,013448	<0,0038053	0	46	3	<0,002999	<0,0027295
CDC123_04	IV	13	38	156	746	1	5779	2	<0,012465	1	189	1014	231	5	<0,012154	<0,012738	<0,040202	<0,01517	<0,0042966	0	35	5	<0,003365	<0,0034732
CDC123_05	IV	9	25	138	484	1	5730	4	0	1	226	1197	252	11	0	0	<0,045176	<0,01733	<0,0041071	0	48	7	0	<0,0033745
CDC123_06	IV	6	24	169	407	1	7537	2	<0,01129	1	227	1630	813	8	<0,01177	<0,013994	<0,050609	<0,016229	<0,0040442	0	55	6	<0,0030025	<0,0034622
CDC123_07	IV	11	34	185	598	1	6985	1	0	1	196	1040	590	11	<0,014038	0	<0,062462	<0,024047	<0,0049657	0	39	4	0	0
CDC123_08	IV	8	30	195	300	1	7923	0	<0,011865	1	229	1371	800	7	<0,012849	<0,013164	<0,051486	<0,0080535	<0,0042274	0	48	2	<0,0017202	0
CDC123_09	IV	13	31	284	829	1	7384	4	<0,012114	1	148	804	629	8	<0,012286	<0,014253	<0,059763	<0,025901	<0,0040562	0	50	9	<0,0019974	<0,0042638
CDC123_10	IV	6	34	271	501	1	8089	0	0	0	200	1380	782	7	<0,01313	<0,013937	<0,054307	<0,020404	<0,0039996	0	58	3	0	0
CDC085_C6_01	IV	28	19	80	704	2	2131	<27,9083	<0,45389	<9,0988	103	168	19	19	<0,32794	<0,31627	<2,8462	<1,1603	<0,19156	<0,89428	64	3	<0,097727	<0,040297
CDC085_C6_02	IV	92	17	72	652	<2,0944	1649	<32,3654	<0,52599	<10,855	86	112	7	25	<0,31543	<0,35721	<2,9979	<1,3789	<0,29299	<0,93511	48	3	<0,054029	<0,084941
CDC085_C6_03	IV	29	19	86	634	2	1903	<29,1809	<0,41862	<9,857	103	221	15	40	<0,2998	<0,33706	<3,1185	<1,1917	<0,18864	<0,84241	67	3	<0,060263	<0,047649
CDC085_C6_04	IV	30	20	85	731	2	2433	<28,7125	<0,44637	<9,9177	90	251	70	19	<0,35297	<0,27363	<2,6015	<0,86828	<0,19599	<1,1365	67	3	<0,054627	<0,043125
CDC085_C7_01	IV	21	25	275	677	2	4602	<25,442	<0,4083	<8,025	93	398	55	78	<0,29725	<0,27334	<2,437	<0,91227	<0,22021	<0,83476	50	3	<0,042961	<0,033881
CDC085_C7_02	IV	20	27	257	549	2	3471	<20,8895	<0,3571	<7,0357	83	342	44	72	<0,22798	<0,22454	<1,8098	<0,89431	<0,18065	<0,61967	44	4	<0,080515	0
CDC085_C7_03	IV	23	25	193	822	<2,1237	5846	<32,3134	<0,51249	<11,0347	79	391	226	117	<0,35197	<0,34243	<3							

CDC085_C7_04	IV	23	29	203	740	2	5666	<29,0797	<0,43322	<9,7195	62	433	158	102	<0,37602	<0,29346	<2,8844	<0,78514	<0,23632	<1,1322	32	3	<0,055397	<0,092785
CDC084_C4_09	IV	70	32	87	<-739,1623	<4,5453	1649	<86,6426	2	<22,9571	52	125	11	189	<0,98441	<0,97726	<6,8613	<2,6503	<0,68857	<2,3436	5	<1,602	0	1
CDC084_C4_10	IV	92	252	90	<-898,9739	<4,2315	2351	<79,4207	<0,91973	<22,8461	79	194	17	248	<0,92445	<0,8015	<6,5654	<2,5374	<0,79558	<1,9373	8	3	<0,16487	<0,02298
CDC157_C1_01	I-b	31	6	58	640	5	886	<30,2519	<0,109	1	8	24	12	41	<0,066117	<0,072298	<0,31496	<0,16913	<0,017436	<0,11104	1	1	<0,020577	<0,01323
CDC157_C1_02	I-b	36	6	44	492	6	920	<28,0352	<0,07387	1	208	33	12	50	<0,057333	<0,061987	<0,29649	<0,077485	<0,015927	0	16	1	<0,018656	<0,012041
CDC157_C1_03	I-b	38	6	72	576	14	884	<29,0187	<0,087897	1	118	20	4	36	<0,059822	<0,042138	<0,24227	<0,084745	<0,038482	0	7	1	<0,02026	<0,013109
CDC157_C1_04	I-b	40	6	46	399	6	986	<29,0696	<0,071649	0	198	26	10	48	<0,1007	<0,042959	<0,088801	<0,090473	<0,033213	<0,24882	14	1	<0,021479	<0,02959
CDC157_C2_01	I-b	33	5	88	365	9	1840	<27,7822	<0,075468	0	163	89	28	1	<0,05485	<0,020002	<0,23868	<0,0858	<0,035774	0	105	1	<0,02002	<0,013064
CDC157_C2_02	I-b	30	6	63	443	14	1193	<25,8752	<0,082354	1	121	31	5	33	<0,057999	<0,032779	<0,28512	<0,063031	<0,012789	<0,15955	7	1	<0,014557	<0,0095333
CDC157_C2_03	I-b	33	6	67	390	13	817	<30,683	<0,097558	1	102	17	3	40	<0,050377	<0,050852	<0,19291	<0,091344	<0,039255	0	7	1	<0,020954	<0,013754
CDC157_C2_04	I-b	28	5	106	341	10	1474	<27,792	<0,080058	0	166	83	24	1	<0,053745	<0,037964	<0,17544	<0,17596	<0,016738	<0,10475	16	1	<0,018877	<0,01242
CDC103a_C1_01	I-b	45	6	46	110	13	424	<33,5061	<0,093797	1	61	63	11	412	<0,070649	<0,06198	<0,26353	<0,084557	<0,043755	0	28	4	<0,018406	0
CDC103a_C1_02	I-b	45	5	46	146	13	484	<34,9056	0	1	78	74	11	451	<0,068166	<0,042292	<0,30205	<0,08565	<0,055058	0	26	5	<0,018468	0
CDC103a_C1_03	I-b	106	3	10	<39,0307	7	217	<25,6579	0	<0,18319	17	14	2	2634	<0,051932	0	<0,14805	<0,060354	<0,023742	<0,073585	1	<0,19971	<0,012932	0
CDC103a_C2_01	I-b	74	4	45	103	14	422	<37,477	<0,085712	1	50	56	10	352	<0,083552	<0,058643	<0,27779	<0,11907	<0,040549	<0,14383	31	3	<0,025121	0
CDC103a_C2_02	I-b	47	6	52	122	15	478	<38,5268	<0,09446	2	165	59	11	324	<0,10512	<0,078736	<0,28408	<0,12125	<0,04835	<0,25174	55	2	<0,04381	<0,029664
CDC103a_C3_01	I-b	58	5	58	127	2	436	<32,7581	0	<0,54875	0	42	8	792	<0,064122	<0,036325	<0,27515	<0,07721	<0,015088	<0,22024	0	3	<0,015898	<0,010817
CDC103a_C3_02	I-b	51	5	55	119	12	443	<27,9631	0	1	139	57	13	317	<0,046019	<0,044846	<0,22845	<0,074742	<0,014576	0	93	2	<0,015298	<0,010429
CDC103a_C3_03	I-b	79	4	54	124	12	486	<41,8356	<0,084659	1	85	67	9	380	<0,028685	<0,056982	<0,28401	<0,10404	<0,020228	0	36	2	<0,021107	<0,014429
CDC024_C1_01	I-b	15	11	63	<51,4922	2	433	<39,4584	<0,098226	<0,69928	1	65	9	69	<0,072031	<0,062283	<0,45503	<0,11574	<0,039563	<0,13176	0	1	<0,022174	0
CDC024_C1_02	I-b	33	7	49	142	3	477	<33,9504	<0,069534	0	2	38	12	61	<0,05934	<0,056749	<0,3565	<0,091729	<0,017429	<0,10389	1	2	<0,01743	0
CDC024_C2_01	I-b	21	9	40	72	5	354	<28,5559	<0,077897	<0,23311	2	13	6	90	<0,05921	<0,015972	<0,25124	<0,14857	<0,015675	<0,093162	1	2	<0,015567	0
CDC024_C2_02	I-b	13	9	61	154	1	370	<28,2728	<0,041157	<0,19853	2	27	8	54	<0,05555	0	<0,22084	<0,070763	<0,013366	<0,079324	0	1	<0,025432	<0,0092743
CDC024_C2_03	I-b	12	5	64	66	3	545	<37,6846	<0,095821	<0,488	2	36	14	133	<0,044456	<0,053089	<0,26236	<0,087994	<0,016573	<0,098138	1	1	<0,016317	0
CDC024_C3_01	I-b	15	9	64	111	2	372	<35,01	<0,10619	<0,30788	2	36	8	73	<0,068599	0	<0,36205	<0,11132	<0,020844	<0,24967	1	1	<0,020317	<0,014346
CDC024_C3_02	I-b	13	10	79	152	<1,1232	457	<46,6471	<0,10875	<0,4086	4	43	10	88	<0,075129	0	<0,28539	<0,1482	<0,027697	<0,16308	1	2	<0,026907	0
CDC024_C3_03	I-b	15	9	64	160	3	350	<39,6203	<0,078783	<0,29192	6	32	8	67	<0,058363	0	<0,32347	<0,10638	<0,04389	<0,21647	1	2	<0,019164	0
CDC024_C4_01	I-b	39	13	50	<38,3674	3	613	<48,2006	<0,136	<1,0324	4	31	12	983	<0,099815	<0,085719	<0,59359	<0,34605	<0,063895	<0,20266	1	4	<0,03307	<0,023597
CDC024_C4_02	I-b	13	5	39	42	4	443	<47,0517	<0,1197	<0,31893	2	24	9	100	<0,087467	<0,046422	<0,46455	<0,1184	<0,021812	<0,12711	1	1	<0,020687	0
CDC024_C4_03	I-b	<8,3942	9	61	155	3	355	<45,059	<0,076916	<0,58797	3	30	8	88	<0,070971	<0,04442	<0,42594	<0,11405	<0,048288	<0,12185	1	1	<0,019779	<0,014174
CDC024_C5_01	I-b	10	7	58	247	2	424	<42,5563	<0,10568	<0,65638	0	58	14	76	<0,095325	<0,048339	<0,43978	<0,15184	<0,027815	<0,16145	0	2	<0,026138	0
CDC024_C5_02	I-b	11	11	73	144	2	445	<55,2922	<0,13271	<0,87424	5	54	11	120	<0,077718	<0,075381	<0,52624	<0,15406	<0,028168	<0,16328	2	1	<0,02639	0
CDC024_C5_03	I-b	24	6	55	163	<1,0582	438	<46,7612	<0,10005	<0,33628	0	40	10	75	<0,09267	<0,071118	<0,48156	<0,12693	<0,04301	<0,13389	0	2	<0,021584	1
CDC024_C6_01	I-b	14	9	66	122	<1,2337	460	<56,4724	<0,10418	<0,81408	1	45	10	88	<0,093524	0	<0,59927	<0,18369	<0,072786	<0,19284	0	2	<0,03101	<0,022391
CDC024_C6_02	I-b	25	9	43	59	2	435	<55,135	<0,15365	<0,50875	3	28	6	990	<0,096656	<0,06209	<0,48524	<0,19347	<0,08161	<0,20246	1	1	<0,032504	<0,023502
CDC117_C1_01	I-b	22	6	69	-18	15	650	<53,0116	<0,16692	1	68	85	6	140	<0,14726	<0,061275	<0,35837	<0,24739	<0,050273	<0,33584	8	3	<0,060941	<0,039552
CDC117_C2_01	I-b	19	4	47	-17	42	692	<39,7841	<0,1343	1	183	178	8	141	<0,12503	<0,11866	<0,31157	<0,32703	<0,066222	<0,43985	11	3	<0,047294	<0,030766
CDC117_C2_02	I-b	17	4	52	-24	18	723	<43,5516	<0,1382	<1,2068	72	170	7	163	<0,10693	0	<0,1519	<0,1845	<0,037228	<0,24588	5	3	<0,044239	<0,028844
CDC117_C2_03	I-b	18	4	55	<-23,5848	10	616	<41,9769	<0,11523	1	58	63	5	137	<0,055269	<0,041282	<0,14298	<0,17255	<0,034736	<0,22858	6	3	<0,041014	<0,02678
CDC117_C3_01	I-b	25	4	38	<-26,4321	5	606	<46,4681	<0,052934	<0,51408	11	80	17	223	<0,16581	<0,10133	<0,31309	<0,1689	<0,033882	<0,22174	5	5	<0,039629	<0,025932
CDC117_C4_01	I-b	<8,1415	7	35	<-35,066	4	384	<63,6029	<0,15453	<0,64435	0	22	8	313	<0,066195	<0,13197	<0,18311	<0,21462	<0,042759	<0,27688	0	3	<0,049105	<0,032265
CDC117_C4_02	I-b	<18,9103	10	35	<-76,2815	10	404	<144,6164	<0,4822	<2,8225	1	21	8	295	<0,41544	<0,12	<0,45711	<0,52879	<0,18813	<0,6745	0	4	<0,11904	<0,07842
CDC117_C4_03	I-b	<9,7172	8	36	<-39,717	4	432	<73,4176	<0,21553	<1,2958	1	24	11	309	<0,068386	<0,051145	<0,68543	<0,228	<0,10395	<0,55447	1	3	<0,050717	<0,064358
CDC103b_C1_01	I-b	48	4	81	<-22,1943	19	1045	<33,1395	<0,11118	1	218	208	98	6	<0,083039	<0,04732	<0,090685	<0,10049	<0,056207	<0,12371	22	3	<0,021513	1
CDC103b_C1_02	I-b	41	3	60	<-18,543	59	668	<28,976	<0,076821	2	115	70	12	7	<0,027969	<0,057434	<0,159	<0,17502	<0,034149	0	4	2	<0,020734	<0,013783
CDC103b_C1_03	I-b	36	3	55	<-21,6203	59	606	<30,2553	<0,074122	2	99	53	10	6	<0,052757	<0,043965	<0,24616	<0,22023	<0,036369	0	3	2	<0,022625	0
CDC103b_C2_01	I-b	35	3	74	<-31,0333	5	507	<35,9284	<0,076384	1	50	67	11	16	<0,08625	<0,060358	<0,2928	<0,21316	<0,022146	<0,13691	6	2	<0,023518	1
CDC103b_C2_02	I-b	26	3	63	<-34,4794	5	545	<34,767	<0,06365	1	57	72	11	22	<0,076169	<0,025218	<0,26402	<0,21247	<0,04089					

CDC103b_C3_03	I-b	38	3	84	<-50,8841	63	648	<32,6335	<0,069595	2	154	71	11	10	<0,025174	<0,039402	<0,091483	<0,094095	<0,033421	0	6	2	<0,018651	<0,012526
CDC139e_C1_01	I-a	62	16	49	-512	29	2470	<99,1121	<0,083259	1	338	309	111	25	<0,073519	<0,055124	<0,62849	<0,28282	<0,099561	<0,32253	27	<0,64189	<0,054459	<0,036725
CDC139e_C1_02	I-a	69	16	75	2647	32	1666	<84,1833	<0,24849	2	327	199	20	21	<0,19741	<0,12179	<0,47618	<0,46815	<0,049245	<0,29493	21	1	<0,049634	<0,033529
CDC139e_C1_03	I-a	67	17	73	1861	33	1775	<81,1971	<0,16734	2	328	198	19	18	<0,10909	<0,044027	<0,43788	<0,23002	<0,080505	<0,25876	18	1	<0,043477	<0,029395
CDC139e_C1_04	I-a	47	12	58	738	26	1466	<74,9378	<0,20818	1	265	221	17	21	<0,1507	<0,10579	<0,4273	<0,41276	<0,04321	<0,25713	13	1	<0,0431	<0,029176
CDC139e_C2_01	I-a	75	15	64	598	34	1440	<59,8971	<0,14844	1	311	113	19	20	<0,11936	<0,034592	<0,49818	<0,18394	<0,061783	0	17	0	<0,034146	<0,023143
CDC139e_C2_02	I-a	66	13	75	438	32	1615	<63,7238	<0,16274	1	300	109	16	13	<0,08366	<0,033775	<0,42143	<0,18063	<0,03376	0	17	0	<0,033335	<0,022611
CDC139e_C2_03	I-a	59	13	74	398	28	1427	<74,7614	<0,1469	1	282	149	17	12	<0,092806	<0,036223	<0,47997	<0,19539	<0,036415	<0,21455	14	<0,54439	<0,035744	<0,024273
CDC139e_C2_04	I-a	63	14	68	363	33	1876	<48,9029	<0,042826	1	338	140	23	16	<0,077358	<0,075035	<0,15916	<0,14836	<0,0276	0	18	0	<0,026986	<0,01834
CDC139e_C3_01	I-a	39	15	75	238	18	2069	<51,9384	<0,10591	0	272	224	60	13	<0,079144	0	<0,48172	<0,15596	<0,028749	<0,16701	43	0	<0,027585	<0,018816
CDC139e_C3_02	I-a	47	14	83	292	18	2579	<38,4154	<0,087102	1	354	367	112	16	<0,066689	<0,022131	<0,28413	<0,12436	<0,022863	0	66	0	<0,021817	<0,014898
CDC139e_C3_03	I-a	64	17	69	204	41	1866	<43,7244	<0,097895	2	334	146	21	26	<0,068809	<0,019879	<0,3307	<0,21589	<0,047495	0	17	0	<0,019595	<0,025743
CDC139e_C3_04	I-a	103	17	68	210	40	1622	<67,5771	<0,15712	2	336	138	21	21	<0,12079	<0,035047	<0,80277	<0,19952	<0,036519	0	19	1	<0,034541	<0,023626
CDC139e_C4_01	I-a	59	19	83	254	20	1841	<45,3171	<0,080247	1	286	162	21	8	<0,073751	<0,046802	<0,27633	<0,13347	<0,024387	0	17	1	<0,022985	<0,015733
CDC139e_C4_02	I-a	62	15	81	143	21	2476	<60,4117	<0,086239	<0,77423	270	318	98	19	<0,038018	<0,028556	<0,19098	<0,16424	<0,029956	0	24	0	<0,028138	<0,019272
CDC139e_C4_03	I-a	87	21	66	350	18	1972	<52,8351	<0,047504	2	333	195	28	13	<0,038731	<0,029096	<0,40279	<0,16861	<0,053016	0	24	<0,36594	<0,028664	<0,019652
CDC139e_C4_04	I-a	62	21	78	306	22	1901	<38,8282	<0,091043	2	286	183	24	12	<0,052791	0	<0,12353	<0,10425	<0,035186	<0,20061	18	0	<0,017634	<0,012097
CDC014_C1_01	I-b	102	9	79	118	38	816	<35,6304	0	<0,59737	242	329	34	32	<0,036834	0	<0,23777	<0,071371	<0,048278	<0,078197	42	3	0	0
CDC014_C1_02	I-b	103	8	78	121	25	712	<46,1602	<0,11539	<0,31412	178	244	26	30	<0,078552	0	<0,46546	<0,11184	<0,02092	<0,12217	32	1	<0,021301	0
CDC014_C1_04	I-b	123	10	77	155	19	758	<67,538	0	0	168	338	35	27	0	0	<0,67659	<0,15714	<0,054485	<0,42466	21	12	0	2
CDC014_C2_01	I-b	118	8	81	148	49	814	<29,8697	<0,070627	<0,50497	171	348	39	19	<0,050156	0	<0,29908	<0,13665	<0,030134	<0,082428	34	3	<0,014379	0
CDC014_C2_02	I-b	87	8	76	202	68	858	<32,9999	<0,041668	1	245	424	44	26	<0,06642	<0,037889	<0,31805	<0,16754	<0,013512	0	38	1	<0,013675	0
CDC014_C2_03	I-b	78	7	66	213	70	859	<34,3681	<0,092096	<0,67963	233	373	43	22	<0,057474	<0,041744	<0,37965	<0,088022	<0,016358	<0,094797	36	1	<0,016541	<0,012212
CDC014_C2_04	I-b	124	10	70	161	3	842	<44,1938	<0,10275	<0,71869	81	496	44	20	<0,057446	0	<0,38561	<0,18946	<0,017579	<0,10172	14	5	<0,017753	0
CDC135_C1_01	IV	25	17	125	277	2	2329	<36,7084	<0,12605	<0,2748	184	101	32	16	<0,05089	<0,044197	<0,20192	<0,24178	<0,054652	<0,18865	75	2	<0,018394	1
CDC135_C1_02	IV	20	16	57	335	1	1138	<30,8654	<0,11461	0	144	148	15	42	<0,040929	<0,035671	<0,21657	<0,078766	<0,026657	0	68	2	<0,014206	0
CDC135_C2_01	IV	27	18	41	482	1	1231	<31,5508	<0,078698	<0,57817	69	64	8	48	<0,04061	<0,040449	<0,23757	<0,17426	<0,026405	<0,1492	34	2	<0,013577	0
CDC135_C2_02	IV	24	18	49	354	1	1714	<29,1299	<0,073864	0	166	107	12	17	<0,056867	<0,033429	<0,30666	<0,13896	<0,03008	<0,14239	87	1	<0,013407	0
CDC135_C2_03	IV	23	15	201	165	1	3896	<26,2414	<0,077123	<0,18072	140	120	85	25	<0,055873	<0,040625	<0,25504	<0,067409	<0,027079	<0,068967	60	1	<0,012069	<0,008746
CDC135_C3_01	IV	55	18	281	213	1	4235	<41,9915	<0,10638	<0,7189	195	129	93	2	<0,06201	<0,054406	<0,38972	<0,10795	<0,03636	<0,11019	18	1	<0,019286	0
CDC135_C3_02	IV	18	15	183	307	1	3051	<34,4042	<0,07508	<0,5301	189	104	54	14	<0,060252	0	<0,42727	<0,16642	<0,030141	<0,091272	47	1	<0,015976	0
CDC135_C3_03	IV	35	23	352	215	1	4104	<31,346	<0,076077	<0,51677	208	96	84	<0,68053	<0,057539	<0,05692	<0,33495	<0,095357	<0,035024	<0,16761	18	0	<0,016976	<0,012276
CDC141b_C1_01	I	55	29	88	<-70,2443	2	360	31	1	1	2	51	9	1233	0	0	<0,20649	<0,071233	<0,030829	<0,19413	1	1	0	0
CDC141b_C1_02	I	30	10	74	<-94,967	5	707	<33,2867	<0,091191	<0,44892	14	210	18	131	<0,079746	<0,036736	<0,32879	<0,078261	<0,029336	<0,09551	2	1	<0,017486	0
CDC141b_C1_03	I	24	6	54	<-120,547	2	919	<34,6988	<0,09966	<0,25714	4	187	17	51	<0,053479	<0,05337	<0,32004	<0,086745	<0,042007	<0,1053	1	1	<0,01927	0
CDC141b_C3_03	I	20	75	115	6206	1	20	799	5	0	1	3	0	224	1	2	1	0	<0,023352	<0,070107	1	60	<0,012789	31
CDC141b_C3_04	I	32	11	74	894	2	538	<46,1067	0	<0,68962	3	33	12	396	<0,075577	0	<0,3578	<0,11062	<0,021223	<0,12866	1	4	<0,023455	2
CDC138c_C1_01	III	188	12	56	147	1	1080	37	<0,08387	1	96	139	62	306	<0,052823	0	<0,31031	<0,16763	<0,037764	0	68	16	0	0
CDC138c_C1_02	III	144	14	64	172	1	770	<43,8136	<0,07315	<0,4794	112	175	36	304	<0,049906	<0,035321	<0,417	<0,2138	<0,040533	0	90	14	<0,018259	<0,013536
CDC138c_C3_01	III	279	17	132	304	<1,0789	13221	<58,7487	<0,12233	1	189	470	824	11	<0,065707	0	<0,48849	<0,23596	<0,022495	0	67	8	<0,024171	<0,017962
CDC138c_C3_02	III	242	13	137	204	1	10891	<47,6364	<0,071674	<0,53424	230	406	668	8	<0,071504	<0,038411	<0,40514	<0,20074	<0,045186	<0,32619	51	9	<0,021783	<0,016247

Tableau d'analyses en éléments traces (LA-ICPMS) des muscovites secondaires hydrothermales / métamorphiques des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en ppm.

Nom_Pts	Type	Li7	Be9	B11	P31	Sc45	Rb85	Sr86	Y89	Zr91	Nb93	Sn120	Cs133	Ba137	La139	Ce140	Gd157	Yb173	Lu175	Hf177	Ta181	Pb208	Th232	U238
CDC001_C1_02	I-b	81	<6.576	64	145	5	1739	<15.8794	<0.23089	<7.5121	237	114	11	6	<0.061885	<0.06773	<0.86377	<0.24854	<0.076732	<0.2959	57	1	<0.024171	<0.0066479
CDC014_C1_01	I-b	102	9	79	118	38	816	<35.6304	0	<0.59737	242	329	34	32	<0.036834	0	<0.23777	<0.071371	<0.048278	<0.078197	42	3	0	0
CDC014_C1_02	I-b	103	8	78	121	25	712	<46.1602	<0.11539	<0.31412	178	244	26	30	<0.078552	0	<0.46546	<0.11184	<0.02092	<0.12217	32	1	<0.021301	0
CDC014_C1_04	I-b	123	10	77	155	19	758	<67.538	0	0	168	338	35	27	0	0	<0.67659	<0.15714	<0.054485	<0.42466	21	12	0	2
CDC074_C5_04	IV	100	12	61	<0.27977	164	1548	37	0	<0.42393	36	185	36	1153	0	0	<0.16848	<0.062177	<0.018735	<0.083205	14	1	0	0
CDC079_C3_03	IV	28	11	83	854	1	1631	3	0	0	41	194	46	8	<0.01211	0	<0.068539	<0.024078	<0.007446	0	41	2	<0.0024962	4
CDC079_C4_02	IV	52	10	65	50	2	1673	<3.553	0	<0.17912	27	121	13	167	<0.012879	0	<0.076207	<0.034565	<0.0095049	0	12	0	<0.0032562	0
CDC084_C4_09	IV	70	32	87	<739.1623	<4.5453	1649	<86.6426	2	<22.9571	52	125	11	189	<0.98441	<0.97726	<6.8613	<2.6503	<0.68857	<2.3436	5	<1.602	0	1
CDC084_C4_10	IV	92	252	90	<898.9739	<4.2315	2351	<79.4207	<0.91973	<22.8461	79	194	17	248	<0.92445	<0.8015	<6.5654	<2.5374	<0.79558	<1.9373	8	3	<0.16487	<0.2298
CDC085_03	IV	39	23	76	554	1	1967	6	0	0	56	84	10	63	<0.014892	<0.018955	<0.087507	<0.021305	<0.0041897	0	59	5	<0.0024325	0
CDC085_04	IV	49	27	81	459	1	1680	15	0	0	46	150	9	114	<0.014588	<0.018467	<0.088567	<0.011905	<0.0059676	0	44	12	<0.002282	0
CDC085_C6_01	IV	28	19	80	704	2	2131	<27.9083	<0.45389	<9.0988	103	168	19	19	<0.32794	<0.31627	<2.8462	<1.1603	<0.19156	<0.89428	64	3	<0.097727	<0.040297
CDC085_C6_02	IV	92	17	72	652	<2.0944	1649	<32.3654	<0.52599	<10.855	86	112	7	25	<0.31543	<0.35721	<2.9979	<1.3789	<0.29299	<0.93511	48	3	<0.054029	<0.084941
CDC085_C6_03	IV	29	19	86	634	2	1903	<29.1809	<0.41862	<9.857	103	221	15	40	<0.2998	<0.33706	<3.1185	<1.1917	<0.18864	<0.84241	67	3	<0.060263	<0.047649
CDC085_C7_01	IV	21	25	275	677	2	4602	<25.442	<0.4083	<8.025	93	398	55	78	<0.29725	<0.27334	<2.437	<0.91227	<0.22021	<0.83476	50	3	<0.042961	<0.033881
CDC085_C7_02	IV	20	27	257	549	2	3471	<20.8895	<0.3571	<7.0357	83	342	44	72	<0.22798	<0.22454	<1.8098	<0.89431	<0.18065	<0.61967	44	4	<0.080515	0
CDC111_C1_02	III	<16.1897	11	45	177	<1.5424	1876	<16.9805	<0.22617	<7.5587	120	218	10	39	<0.087464	<0.073663	<1.0032	<0.16768	<0.079689	<0.21376	34	7	<0.039687	<0.009992
CDC111_C2_01	III	<18.2204	10	45	188	<1.6175	929	21	<0.24351	<8.1918	50	140	4	223	<0.099108	<0.0982	<1.0533	<0.25256	<0.053477	<0.2791	19	9	<0.013694	<0.011058
CDC111_C2_02	III	<18.3206	13	42	185	<1.6338	1075	21	<0.24962	<8.1479	65	149	5	235	<0.11376	<0.10537	<0.97543	<0.2681	<0.078376	<0.30351	23	8	<0.026374	<0.010784
CDC135_C1_01	IV	25	17	125	277	2	2329	<36.7084	<0.12605	<0.2748	184	101	32	16	<0.05089	<0.044197	<0.20192	<0.24178	<0.054652	<0.18865	75	2	<0.018394	1
CDC135_C1_02	IV	20	16	57	335	1	1138	<30.8654	<0.11461	0	144	148	15	42	<0.040929	<0.035671	<0.21657	<0.078766	<0.026657	0	68	2	<0.014206	0
CDC135_C2_01	IV	27	18	41	482	1	1231	<31.5508	<0.078698	<0.57817	69	64	8	48	<0.04061	<0.040449	<0.23757	<0.17426	<0.026405	<0.1492	34	2	<0.013577	0
CDC135_C2_02	IV	24	18	49	354	1	1714	<29.1299	<0.073864	0	166	107	12	17	<0.056867	<0.033429	<0.30666	<0.13896	<0.03008	<0.14239	87	1	<0.013407	0
CDC138c_C1_01	III	188	12	56	147	1	1080	37	<0.08387	1	96	139	62	306	<0.052823	0	<0.31031	<0.16763	<0.037764	0	68	16	0	0
CDC138c_C1_02	III	144	14	64	172	1	770	<43.8136	<0.07315	<0.4794	112	175	36	304	<0.049906	<0.035321	<0.417	<0.2138	<0.040533	0	90	14	<0.018259	<0.013536
CDC141b_C1_01	I	55	29	88	<70.2443	2	360	31	1	1	2	51	9	1233	0	0	<0.20649	<0.071233	<0.030829	<0.19413	1	1	0	0
CDC141b_C1_02	I	30	10	74	<94.967	5	707	<33.2867	<0.091191	<0.44892	14	210	18	131	<0.079746	<0.036736	<0.32879	<0.078261	<0.029336	<0.09551	2	1	<0.017486	0
CDC141b_C1_03	I	24	6	54	<120.547	2	919	<34.6988	<0.09966	<0.25714	4	187	17	51	<0.053479	<0.05337	<0.32004	<0.086745	<0.042007	<0.1053	1	1	<0.01927	0
CDC141b_C3_03	I	20	75	115	6206	1	20	799	5	0	1	3	0	224	1	2	1	0	<0.023352	<0.070107	1	60	<0.012789	31
CDC141b_C3_04	I	32	11	74	894	2	538	<46.1067	0	<0.68962	3	33	12	396	<0.075577	0	<0.3578	<0.11062	<0.021223	<0.12866	1	4	<0.023455	2

b. Biotites des pegmatites

Tableau d'analyses en éléments majeurs (microsonde) des biotites des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en % poids d'oxyde.

Nom Pts	Type	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	F	BaO	Cr2O3	Total
CDC121-P1	I-b	35,95	2,28	19,24	19,41	0,45	7,53	0,11	0,19	8,78		0,55	0,00	0,00	94,48
CDC121-P1	I-b	35,19	2,20	18,93	19,93	0,45	7,62	0,13	0,20	8,59		0,00	0,00	0,03	93,26
CDC121-P1	I-b	35,15	2,19	18,78	20,04	0,50	7,77	0,01	0,17	9,26		0,09	0,03	0,00	94,00
CDC121-P1	I-b	35,01	2,22	18,95	19,89	0,53	7,83	0,08	0,19	9,02		0,00	0,00	0,00	93,77
CDC121-P1	I-b	34,85	2,21	18,71	19,52	0,48	7,90	0,00	0,12	8,92		0,51	0,00	0,00	93,21
CDC121-P1	I-b	34,81	2,25	18,62	19,56	0,44	7,66	0,02	0,11	8,92		0,00	0,00	0,00	92,41
CDC121-P1	I-b	34,70	2,20	18,71	20,14	0,47	7,62	0,00	0,12	9,34		0,17	0,00	0,11	93,58
CDC121-P1	I-b	34,62	2,25	18,58	19,87	0,44	7,60	0,04	0,15	8,71		0,00	0,00	0,00	92,27
CDC121-P1	I-b	34,58	2,20	18,83	19,27	0,43	7,76	0,01	0,17	9,14		0,00	0,00	0,00	92,38
CDC121-P1	I-b	34,50	2,26	18,48	19,88	0,47	7,46	0,10	0,19	8,97		0,17	0,00	0,03	92,50
CDC121-P1	I-b	34,35	2,25	18,04	19,90	0,48	7,50	0,04	0,10	8,73		0,00	0,00	0,09	91,48
CDC121-P1	I-b	34,05	2,33	18,43	20,11	0,45	7,31	0,10	0,12	8,58		0,00	0,01	0,00	91,49
CDC121-P1	I-b	33,97	2,25	18,49	19,72	0,46	7,50	0,00	0,15	9,12		0,09	0,06	0,02	91,84
CDC121-P1	I-b	33,86	2,45	17,20	20,50	0,44	7,56	0,02	0,10	9,17		0,46	0,02	0,05	91,88
CDC121-P1	I-b	33,78	2,32	17,91	19,98	0,49	7,62	0,12	0,12	9,05		0,34	0,00	0,00	91,72
CDC121-P1	I-b	33,76	2,51	17,09	19,89	0,44	7,65	0,15	0,16	8,90		0,38	0,00	0,01	90,97
CDC121-P1	I-b	33,73	2,40	16,91	19,62	0,50	7,65	0,15	0,17	9,08		0,30	0,00	0,05	90,58
CDC121-P1	I-b	33,71	2,46	16,89	20,44	0,46	7,71	0,05	0,13	8,83		0,25	0,03	0,01	91,01
CDC121-P1	I-b	33,69	2,12	16,94	20,13	0,39	7,65	0,02	0,13	8,84		0,00	0,00	0,05	89,98
CDC121-P1	I-b	33,64	2,30	17,64	19,81	0,37	7,24	0,11	0,09	9,09		0,34	0,00	0,02	90,66
CDC121-P1	I-b	33,64	2,56	17,27	19,97	0,48	7,77	0,01	0,15	9,00		0,38	0,00	0,01	91,24
CDC121-P1	I-b	33,53	2,39	17,41	20,23	0,53	7,46	0,00	0,08	9,13		0,46	0,00	0,00	91,21
CDC121-P1	I-b	33,52	2,35	17,52	20,07	0,49	7,59	0,03	0,08	8,83		0,08	0,00	0,00	90,59
CDC121-P1	I-b	33,47	2,63	17,21	20,45	0,48	7,72	0,02	0,06	9,39		0,80	0,00	0,06	92,34
CDC121-P1	I-b	33,45	2,54	16,94	20,02	0,43	7,72	0,01	0,08	9,06		0,17	0,00	0,00	90,45
CDC121-P1	I-b	33,33	2,32	17,30	20,31	0,46	7,25	0,01	0,14	8,98		0,34	0,00	0,00	90,46
CDC121-P1	I-b	33,28	2,25	17,57	19,60	0,40	7,23	0,17	0,16	8,74		0,42	0,00	0,00	89,82
CDC121-P1	I-b	33,28	2,23	17,94	19,31	0,46	7,58	0,00	0,14	8,99		0,30	0,00	0,00	90,26
CDC121-P1	I-b	32,99	2,39	17,09	20,35	0,55	7,57	0,08	0,06	9,09		0,38	0,00	0,01	90,55
CDC121-P1	I-b	32,88	2,32	17,20	19,79	0,44	7,21	0,01	0,08	8,97		0,38	0,02	0,00	89,29
CDC121-P1	I-b	32,77	2,46	16,85	19,60	0,44	7,32	0,09	0,13	9,29		0,17	0,00	0,06	89,18

Tableau d'analyses en éléments traces (LA-ICPMS) des biotites des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en ppm.

Nom Pts	Type	Li7	Be9	B11	P31	Sc45	Rb85	Sr86	Y89	Zr91	Nb93	Sn120	Cs133	Ba137	La139	Ce140	Gd157	Yb173	Lu175	Hf177	Ta181	Pb208	Th232	U238
CDC121_01	I-b	390	2	7	103	55	1215	0	0	1	272	46	128	41	<0.01153	0	<0.059534	<0.019229	<0.0055068	0	39	3	0	0
CDC121_02	I-b	408	1	8	80	61	1199	0	0	1	313	45	60	43	<0.011549	<0.013128	<0.065712	<0.022161	<0.0075099	0	41	2	<0.002825	0
CDC121_03	I-b	407	1	8	102	56	1216	0	0	1	303	45	160	43	<0.010093	<0.011867	<0.055674	<0.015799	<0.00645	0	42	2	<0.0015389	0
CDC121_04	I-b	407	1	7	76	61	1189	0	0	1	301	42	54	57	<0.010255	<0.011481	<0.050934	<0.016715	<0.0056137	0	33	2	<0.0014646	0
CDC119_08	I-b	92	1	9	87	28	1046	0	0	1	319	122	66	40	<0.0099622	<0.010331	<0.049823	<0.012986	<0.002817	0	32	2	<0.002611	1
CDC119_09	I-b	113	1	10	82	30	1015	0	0	1	279	126	60	40	<0.0075993	<0.010177	<0.040147	<0.012393	<0.0023387	0	21	1	<0.0012868	0

c. Grenats des pegmatites

Tableau d'analyses en éléments majeurs (microsonde) des grenats des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en % poids d'oxyde.

Comment	Na2O	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	MnO	FeO	MgO	TiO2	Cr2O3	Total
CDC001-C5-01	0,07	20,82	36,89	0,03	0,11	9,84	30,92	2,01	0,00	0,00	100,69
CDC001-C5-02	0,05	20,93	37,01	0,03	0,12	9,78	30,74	2,04	0,00	0,00	100,70
CDC001-C5-03	0,07	21,12	36,82	0,01	0,20	9,59	30,50	2,03	0,00	0,00	100,33
CDC001-C5-04	0,04	20,88	36,85	0,04	0,14	9,58	30,50	2,01	0,00	0,00	100,03
CDC001-C6-01	0,03	20,91	36,72	0,03	0,12	9,94	30,39	1,89	0,00	0,00	100,02
CDC001-C6-02	0,04	20,94	37,05	0,00	0,12	10,23	29,97	1,87	0,00	0,00	100,22
CDC001-C6-03	0,02	20,96	36,98	0,00	0,13	10,64	30,88	1,66	0,00	0,00	101,27
CDC001-C6-04	0,03	20,75	36,88	0,03	0,12	10,78	29,81	1,82	0,00	0,01	100,23
CDC001-C6-05	0,06	20,77	37,00	0,03	0,10	10,67	30,12	1,95	0,00	0,00	100,72
CDC001-C6-06	0,06	21,06	36,82	0,01	0,14	10,68	30,13	1,91	0,00	0,01	100,81
CDC017-C5-01	0,00	20,75	36,88	0,03	0,12	8,54	32,49	1,79	0,00	0,00	100,60
CDC017-C5-02	0,03	20,70	36,99	0,01	0,14	8,51	32,32	1,86	0,00	0,01	100,57
CDC017-C5-03	0,05	20,75	36,80	0,01	0,15	8,54	32,50	1,85	0,00	0,00	100,65
CDC017-C5-04	0,05	20,75	36,87	0,02	0,09	8,37	32,01	1,73	0,00	0,01	99,89
CDC017-C5-05	0,05	20,95	37,02	0,00	0,10	8,39	32,30	1,78	0,00	0,01	100,60
CDC017-C5-06	0,06	20,89	36,90	0,01	0,10	8,45	32,26	1,90	0,00	0,00	100,56
CDC109-C1-01	0,02	20,43	36,41	0,01	0,12	17,12	26,26	0,23	0,00	0,01	100,62
CDC109-C1-010	0,00	20,44	36,23	0,01	0,12	17,10	25,66	0,20	0,00	0,01	99,79
CDC109-C1-011	0,03	20,61	36,16	0,00	0,10	19,74	23,36	0,14	0,00	0,00	100,14
CDC109-C1-012	0,00	20,52	36,07	0,00	0,14	17,27	25,75	0,20	0,00	0,00	99,94
CDC109-C1-013	0,04	20,67	36,03	0,00	0,12	17,44	25,78	0,21	0,01	0,00	100,28
CDC109-C1-014	0,01	20,76	36,54	0,01	0,18	17,21	25,56	0,22	0,00	0,00	100,48
CDC109-C1-02	0,02	20,42	35,85	0,00	0,16	16,58	26,41	0,24	0,00	0,00	99,67
CDC109-C1-04	0,02	20,65	36,29	0,02	0,20	16,34	26,32	0,19	0,02	0,02	100,05
CDC109-C1-05	0,03	20,54	36,43	0,00	0,13	16,82	26,17	0,24	0,00	0,00	100,36
CDC109-C1-06	0,02	20,64	36,10	0,02	0,07	16,78	26,37	0,23	0,00	0,00	100,23
CDC109-C1-08	0,05	20,55	36,31	0,02	0,15	17,49	25,54	0,22	0,00	0,01	100,33
CDC109-C1-09	0,03	20,50	36,47	0,02	0,14	22,12	21,02	0,16	0,01	0,00	100,47
CDC119-C10-01	0,09	20,92	36,37	0,00	0,23	15,54	25,81	1,48	0,01	0,00	100,44
CDC119-C10-02	0,07	20,77	36,90	0,00	0,23	14,30	26,40	1,55	0,00	0,00	100,22
CDC119-C8-01	0,06	21,14	36,93	0,01	0,24	11,57	28,47	2,22	0,00	0,00	100,63
CDC119-C8-02	0,01	20,90	36,80	0,00	0,23	11,70	28,53	2,16	0,00	0,01	100,34
CDC119-C8-03	0,07	21,09	36,83	0,01	0,23	11,33	28,62	2,23	0,00	0,00	100,40
CDC119-C8-04	0,10	21,10	36,84	0,00	0,22	11,36	28,75	2,24	0,01	0,01	100,64
CDC119-C8-05	0,05	20,95	36,94	0,03	0,22	12,32	27,62	2,04	0,00	0,01	100,17
CDC119-C8-06	0,02	21,00	36,72	0,03	0,22	12,27	27,54	2,01	0,00	0,00	99,79
CDC119-C8-07	0,02	20,92	36,54	0,00	0,18	12,59	27,70	2,11	0,03	0,01	100,09
CDC119-C8-08	0,05	20,96	36,63	0,01	0,23	12,75	27,50	2,02	0,03	0,00	100,16
CDC119-C9-01	0,04	20,77	36,77	0,01	0,13	12,05	28,09	2,22	0,00	0,01	100,09
CDC119-C9-02	0,08	20,89	36,99	0,02	0,16	11,86	28,41	2,17	0,02	0,01	100,61
CDC1119-C09-P1	0,09	20,52	36,09	0,00	0,22	12,14	27,98	2,14	0,01	0,00	99,17
CDC1119-C09-P1	0,06	20,59	36,29	0,01	0,26	11,62	28,19	2,17	0,00	0,00	99,19
CDC1119-C09-P1	0,04	20,63	36,40	0,02	0,25	11,88	27,89	2,14	0,01	0,00	99,25
CDC1119-C09-P1	0,09	20,77	36,53	0,01	0,25	11,80	27,83	2,15	0,01	0,00	99,44
CDC1119-C09-P1	0,04	20,64	36,02	0,00	0,22	12,05	28,44	2,08	0,00	0,00	99,48
CDC1119-C09-P1	0,03	20,60	36,19	0,03	0,26	11,98	28,46	1,94	0,00	0,00	99,49
CDC1119-C09-P1	0,08	20,65	36,55	0,04	0,19	12,01	27,93	2,07	0,00	0,00	99,51
CDC1119-C09-P1	0,08	20,66	36,49	0,00	0,28	12,14	27,82	2,09	0,00	0,00	99,55
CDC1119-C09-P1	0,06	20,76	36,44	0,00	0,24	12,00	27,89	2,15	0,01	0,00	99,56
CDC1119-C09-P1	0,07	20,75	36,54	0,01	0,22	12,02	27,88	2,09	0,01	0,00	99,58
CDC1119-C09-P1	0,06	20,85	36,51	0,00	0,23	12,00	27,75	2,14	0,03	0,00	99,58
CDC1119-C09-P1	0,02	20,71	36,63	0,01	0,24	11,84	27,97	2,14	0,02	0,01	99,58
CDC1119-C09-P1	0,04	20,88	36,61	0,00	0,20	12,07	27,71	2,07	0,01	0,00	99,58
CDC1119-C09-P1	0,07	20,89	36,51	0,00	0,20	11,69	28,11	2,11	0,01	0,00	99,59
CDC1119-C09-P1	0,04	20,73	36,50	0,02	0,13	11,88	28,29	2,01	0,00	0,00	99,60
CDC1119-C09-P1	0,07	20,79	36,48	0,02	0,28	11,75	28,10	2,16	0,00	0,01	99,65
CDC1119-C09-P1	0,09	20,70	36,54	0,01	0,18	11,77	28,29	2,07	0,00	0,00	99,65
CDC1119-C09-P1	0,07	20,69	36,44	0,04	0,21	12,01	28,15	2,06	0,00	0,00	99,66
CDC1119-C09-P1	0,05	20,71	36,28	0,03	0,21	11,86	28,66	1,90	0,00	0,00	99,69
CDC1119-C09-P1	0,10	20,73	36,13	0,04	0,22	11,83	28,49	2,15	0,02	0,00	99,72
CDC1119-C09-P1	0,07	20,81	36,62	0,02	0,20	11,80	28,10	2,10	0,01	0,00	99,73
CDC1119-C09-P1	0,03	20,59	36,28	0,00	0,21	12,10	28,36	2,13	0,03	0,01	99,74
CDC1119-C09-P1	0,09	20,71	36,13	0,02	0,21	11,83	28,65	2,11	0,00	0,00	99,76
CDC1119-C09-P1	0,07	20,75	36,86	0,03	0,17	11,79	27,94	2,14	0,01	0,00	99,76
CDC1119-C09-P1	0,03	20,77	36,66	0,01	0,19	11,94	28,07	2,12	0,00	0,00	99,77
CDC1119-C09-P1	0,09	20,67	36,52	0,01	0,20	12,08	28,09	2,11	0,01	0,00	99,78
CDC1119-C09-P1	0,07	20,71	36,38	0,00	0,16	11,82	28,60	2,03	0,00	0,01	99,80
CDC1119-C09-P1	0,07	20,63	36,29	0,00	0,28	11,73	28,64	2,15	0,01	0,00	99,81
CDC1119-C09-P1	0,01	20,69	36,62	0,00	0,22	11,91	28,29	2,06	0,00	0,00	99,81

CDC1119-C09-P1	0,03	20,60	36,40	0,02	0,18	12,14	28,42	2,03	0,00	0,01	99,82
CDC1119-C09-P1	0,02	20,74	36,57	0,00	0,19	11,96	28,26	2,08	0,01	0,01	99,86
CDC1119-C09-P1	0,07	20,86	36,81	0,04	0,19	11,62	28,16	2,12	0,00	0,00	99,87
CDC1119-C09-P1	0,01	20,77	36,66	0,02	0,22	11,83	28,34	2,04	0,00	0,00	99,88
CDC1119-C09-P1	0,06	20,80	36,47	0,02	0,19	11,80	28,31	2,23	0,02	0,00	99,89
CDC1119-C09-P1	0,07	20,85	36,61	0,00	0,22	11,82	28,19	2,18	0,00	0,00	99,94
CDC1119-C09-P1	0,11	20,77	36,28	0,00	0,24	12,22	28,28	2,05	0,00	0,00	99,94
CDC1119-C09-P1	0,10	20,79	36,60	0,00	0,25	11,77	28,31	2,09	0,02	0,01	99,95
CDC1119-C09-P1	0,09	20,92	36,56	0,01	0,20	11,75	28,25	2,14	0,03	0,00	99,95
CDC1119-C09-P1	0,07	20,77	36,63	0,00	0,14	11,77	28,53	2,08	0,00	0,00	99,97
CDC1119-C09-P1	0,10	20,67	36,76	0,02	0,19	11,94	28,31	2,01	0,02	0,00	100,00
CDC1119-C09-P1	0,06	20,83	36,45	0,00	0,17	11,50	28,83	2,17	0,00	0,00	100,01
CDC1119-C09-P1	0,07	20,83	36,56	0,00	0,17	11,86	28,44	2,06	0,02	0,01	100,01
CDC1119-C09-P1	0,07	20,89	36,68	0,00	0,18	12,00	28,16	2,04	0,00	0,00	100,02
CDC1119-C09-P1	0,09	21,10	36,34	0,02	0,24	11,88	28,24	2,09	0,01	0,00	100,02
CDC1119-C09-P1	0,03	20,99	36,50	0,01	0,22	12,02	28,13	2,11	0,01	0,01	100,02
CDC1119-C09-P1	0,06	20,86	36,47	0,01	0,21	11,92	28,68	1,80	0,04	0,00	100,04
CDC1119-C09-P1	0,05	20,61	36,72	0,03	0,19	12,06	28,34	2,04	0,00	0,01	100,05
CDC1119-C09-P1	0,05	20,71	36,63	0,00	0,19	11,80	28,55	2,12	0,00	0,00	100,05
CDC1119-C09-P1	0,07	20,88	36,39	0,00	0,20	12,00	28,33	2,16	0,03	0,00	100,06
CDC1119-C09-P1	0,06	20,80	36,55	0,00	0,19	12,05	28,25	2,13	0,03	0,00	100,07
CDC1119-C09-P1	0,08	20,84	36,79	0,01	0,17	11,94	28,07	2,18	0,01	0,00	100,07
CDC1119-C09-P1	0,06	20,79	36,83	0,00	0,17	11,98	28,06	2,20	0,02	0,00	100,10
CDC1119-C09-P1	0,06	20,84	36,75	0,00	0,20	11,71	28,51	2,04	0,00	0,00	100,11
CDC1119-C09-P1	0,12	20,90	36,53	0,00	0,15	11,72	28,56	2,11	0,02	0,00	100,11
CDC1119-C09-P1	0,06	21,00	36,62	0,01	0,22	12,06	28,01	2,14	0,01	0,00	100,12
CDC1119-C09-P1	0,04	20,83	36,62	0,02	0,19	11,83	28,48	2,15	0,01	0,00	100,17
CDC1119-C09-P1	0,07	21,10	36,59	0,00	0,22	11,79	28,27	2,12	0,02	0,00	100,17
CDC1119-C09-P1	0,08	20,94	36,83	0,00	0,25	11,83	28,14	2,12	0,00	0,00	100,19
CDC1119-C09-P1	0,07	20,92	36,53	0,04	0,22	12,02	28,14	2,24	0,01	0,01	100,19
CDC1119-C09-P1	0,10	20,79	36,70	0,00	0,23	12,19	28,02	2,14	0,01	0,00	100,20
CDC1119-C09-P1	0,08	20,95	36,58	0,01	0,18	11,79	28,33	2,26	0,01	0,00	100,20
CDC1119-C09-P1	0,06	20,89	36,58	0,03	0,18	12,11	28,29	2,08	0,00	0,00	100,21
CDC1119-C09-P1	0,05	21,01	36,65	0,00	0,23	11,88	28,24	2,12	0,02	0,00	100,21
CDC1119-C09-P1	0,03	20,80	36,78	0,01	0,18	12,08	28,24	2,09	0,00	0,00	100,22
CDC1119-C09-P1	0,09	20,88	36,79	0,00	0,23	11,62	28,39	2,21	0,00	0,02	100,22
CDC1119-C09-P1	0,05	20,86	36,70	0,01	0,29	12,12	28,15	2,05	0,02	0,00	100,23
CDC1119-C09-P1	0,06	20,67	36,80	0,04	0,20	12,27	27,98	2,19	0,01	0,01	100,23
CDC1119-C09-P1	0,11	20,93	36,61	0,03	0,26	12,01	28,16	2,12	0,03	0,00	100,26
CDC1119-C09-P1	0,06	20,69	36,71	0,01	0,22	11,81	28,62	2,15	0,00	0,01	100,28
CDC1119-C09-P1	0,10	20,94	36,50	0,03	0,24	11,99	28,36	2,14	0,02	0,01	100,31
CDC1119-C09-P1	0,03	20,92	36,62	0,01	0,26	12,23	28,04	2,19	0,03	0,00	100,33
CDC1119-C09-P1	0,10	20,78	36,92	0,01	0,16	11,54	28,73	2,09	0,01	0,00	100,34
CDC1119-C09-P1	0,07	20,78	36,76	0,00	0,17	11,95	28,53	2,08	0,01	0,00	100,35
CDC1119-C09-P1	0,10	20,62	36,79	0,02	0,20	11,65	28,84	2,14	0,00	0,00	100,36
CDC1119-C09-P1	0,08	20,86	36,66	0,02	0,19	11,99	28,42	2,12	0,03	0,00	100,37
CDC1119-C09-P1	0,07	20,86	36,80	0,02	0,20	11,96	28,30	2,18	0,00	0,00	100,39
CDC1119-C09-P1	0,08	20,89	36,63	0,00	0,22	12,22	28,26	2,09	0,00	0,00	100,39
CDC1119-C09-P1	0,06	20,82	36,56	0,03	0,22	11,69	28,91	2,11	0,01	0,00	100,40
CDC1119-C09-P1	0,06	20,84	36,71	0,01	0,18	12,17	28,35	2,09	0,01	0,00	100,41
CDC1119-C09-P1	0,05	20,94	36,53	0,00	0,20	12,17	28,37	2,15	0,01	0,01	100,42
CDC1119-C09-P1	0,04	21,09	36,89	0,01	0,19	11,54	28,56	2,21	0,00	0,01	100,54
CDC1119-C09-P1	0,08	20,85	36,80	0,02	0,25	11,34	29,07	2,15	0,00	0,00	100,55
CDC1119-C09-P1	0,09	20,81	36,90	0,02	0,18	11,75	28,71	2,18	0,02	0,00	100,66
CDC1119-C09-P1	0,08	20,89	36,62	0,02	0,21	11,87	28,78	2,21	0,01	0,00	100,68
CDC1119-C09-P1	0,06	20,95	36,89	0,01	0,19	12,02	28,51	2,06	0,00	0,02	100,71
CDC1119-C09-P1	0,09	20,98	36,86	0,00	0,21	11,75	28,65	2,18	0,00	0,00	100,72
CDC1119-C09-P1	0,11	20,85	36,79	0,01	0,16	12,31	28,43	2,12	0,01	0,00	100,79
CDC1119-C09-P1	0,10	22,63	38,11	0,57	0,33	10,19	27,02	1,92	0,01	0,00	100,88
CDC1119-C09-P1	0,09	21,42	37,37	0,00	0,22	12,28	27,77	2,16	0,02	0,00	101,33
CDC1119-C09-P1	0,08	21,78	37,93	0,00	0,22	12,03	27,98	2,23	0,03	0,00	102,28
CDC1119-C10-P1	0,09	20,43	36,00	0,02	0,21	14,45	26,31	1,53	0,00	0,01	99,04
CDC1119-C10-P1	0,08	20,63	36,01	0,01	0,25	14,34	26,40	1,50	0,00	0,00	99,22
CDC1119-C10-P1	0,07	20,50	36,18	0,00	0,21	15,60	25,46	1,33	0,00	0,00	99,34
CDC1119-C10-P1	0,05	20,77	36,12	0,02	0,23	15,32	25,58	1,38	0,00	0,00	99,47
CDC1119-C10-P1	0,08	20,54	36,25	0,00	0,23	14,00	26,83	1,54	0,00	0,01	99,48
CDC1119-C10-P1	0,10	20,51	36,24	0,02	0,27	13,54	27,11	1,71	0,00	0,00	99,48
CDC1119-C10-P1	0,09	20,46	36,22	0,00	0,25	14,78	26,39	1,51	0,00	0,00	99,69
CDC1119-C10-P1	0,07	20,68	36,14	0,02	0,27	14,68	26,34	1,50	0,00	0,01	99,69
CDC1119-C10-P1	0,14	20,64	36,24	0,00	0,24	15,06	25,99	1,39	0,00	0,02	99,71
CDC1119-C10-P1	0,03	20,64	36,25	0,03	0,29	13,75	27,14	1,60	0,00	0,00	99,72
CDC1119-C10-P1	0,09	20,69	36,54	0,00	0,20	12,59	27,76	1,86	0,00	0,00	99,73
CDC1119-C10-P1	0,04	20,79	36,39	0,00	0,26	13,74	26,77	1,71	0,03	0,00	99,74
CDC1119-C10-P1	0,06	20,77	36,30	0,03	0,25	15,52	25,44	1,39	0,00	0,00	99,74
CDC1119-C10-P1	0,03	20,74	36,35	0,02	0,17	15,50	25,65	1,31	0,01	0,01	99,79
CDC1119-C10-P1	0,06	20,74	36,25	0,00	0,22	14,09	26,85	1,60	0,00	0,00	99,80
CDC1119-C10-P1	0,05	20,66	36,77	0,02	0,26	11,64	28,35	2,06	0,00	0,01	99,81

CDC1119-C10-P1	0,08	20,68	36,58	0,01	0,24	12,85	27,56	1,84	0,00	0,00	99,83
CDC1119-C10-P1	0,05	20,69	36,70	0,05	0,26	13,29	27,01	1,77	0,00	0,00	99,83
CDC1119-C10-P1	0,10	20,74	36,23	0,00	0,22	15,48	25,70	1,39	0,00	0,00	99,85
CDC1119-C10-P1	0,05	20,64	36,24	0,00	0,22	15,25	26,07	1,38	0,00	0,00	99,85
CDC1119-C10-P1	0,07	20,69	36,34	0,01	0,21	15,07	26,02	1,44	0,00	0,01	99,86
CDC1119-C10-P1	0,08	20,62	36,41	0,01	0,22	15,18	25,97	1,40	0,00	0,00	99,88
CDC1119-C10-P1	0,13	20,67	36,69	0,02	0,18	15,47	25,43	1,31	0,00	0,00	99,89
CDC1119-C10-P1	0,05	20,75	36,33	0,02	0,20	15,37	25,91	1,28	0,00	0,00	99,90
CDC1119-C10-P1	0,03	20,67	36,57	0,02	0,22	13,28	27,37	1,76	0,00	0,00	99,90
CDC1119-C10-P1	0,03	20,79	36,72	0,00	0,24	12,41	27,81	1,92	0,00	0,00	99,91
CDC1119-C10-P1	0,06	20,72	36,33	0,01	0,24	14,73	26,34	1,50	0,00	0,00	99,92
CDC1119-C10-P1	0,07	20,85	36,33	0,00	0,23	14,44	26,54	1,47	0,00	0,00	99,93
CDC1119-C10-P1	0,04	20,78	36,35	0,01	0,22	15,25	25,93	1,38	0,00	0,00	99,96
CDC1119-C10-P1	0,04	20,84	36,08	0,01	0,20	14,77	26,52	1,45	0,05	0,00	99,96
CDC1119-C10-P1	0,07	20,67	36,57	0,00	0,21	15,04	26,08	1,36	0,00	0,00	99,99
CDC1119-C10-P1	0,09	20,85	36,24	0,00	0,16	14,57	26,59	1,49	0,00	0,01	100,01
CDC1119-C10-P1	0,02	20,75	36,58	0,00	0,25	12,16	28,20	2,05	0,00	0,00	100,01
CDC1119-C10-P1	0,06	20,65	36,52	0,00	0,24	14,47	26,47	1,62	0,00	0,00	100,02
CDC1119-C10-P1	0,05	20,77	36,56	0,00	0,22	11,90	28,43	2,09	0,00	0,00	100,03
CDC1119-C10-P1	0,06	20,89	36,36	0,02	0,24	15,02	26,09	1,37	0,00	0,00	100,06
CDC1119-C10-P1	0,06	20,69	36,49	0,02	0,25	13,90	26,92	1,74	0,00	0,01	100,06
CDC1119-C10-P1	0,05	20,59	36,41	0,01	0,26	13,10	27,74	1,91	0,00	0,00	100,06
CDC1119-C10-P1	0,05	20,55	36,40	0,03	0,27	13,98	27,26	1,54	0,00	0,00	100,07
CDC1119-C10-P1	0,05	20,68	36,30	0,04	0,20	14,33	26,89	1,58	0,00	0,01	100,08
CDC1119-C10-P1	0,07	20,69	36,34	0,01	0,20	14,47	26,72	1,59	0,00	0,02	100,10
CDC1119-C10-P1	0,11	20,83	36,38	0,00	0,25	14,81	26,25	1,46	0,00	0,01	100,11
CDC1119-C10-P1	0,06	20,76	36,36	0,02	0,23	15,65	25,62	1,43	0,00	0,00	100,12
CDC1119-C10-P1	0,05	20,85	36,33	0,01	0,28	15,38	25,91	1,32	0,00	0,00	100,14
CDC1119-C10-P1	0,03	20,63	36,52	0,03	0,22	14,34	26,95	1,41	0,00	0,02	100,14
CDC1119-C10-P1	0,05	20,77	36,73	0,01	0,17	15,74	25,41	1,27	0,00	0,01	100,15
CDC1119-C10-P1	0,01	20,72	36,78	0,05	0,20	13,84	26,89	1,69	0,00	0,00	100,19
CDC1119-C10-P1	0,08	20,70	36,59	0,00	0,19	15,55	25,77	1,33	0,00	0,01	100,21
CDC1119-C10-P1	0,05	20,88	36,64	0,00	0,24	12,81	27,62	1,97	0,00	0,00	100,21
CDC1119-C10-P1	0,07	20,95	36,68	0,02	0,27	11,91	28,32	2,03	0,00	0,00	100,25
CDC1119-C10-P1	0,07	20,76	36,42	0,00	0,20	15,41	26,03	1,36	0,00	0,00	100,25
CDC1119-C10-P1	0,03	20,77	36,47	0,01	0,26	15,50	25,86	1,36	0,00	0,00	100,26
CDC1119-C10-P1	0,08	20,78	36,70	0,02	0,26	12,13	28,29	2,03	0,00	0,00	100,28
CDC1119-C10-P1	0,04	20,85	36,29	0,01	0,19	15,36	26,10	1,47	0,00	0,00	100,30
CDC1119-C10-P1	0,03	20,80	36,07	0,00	0,18	14,98	26,87	1,35	0,02	0,01	100,32
CDC1119-C10-P1	0,13	20,76	36,54	0,03	0,23	15,53	25,80	1,30	0,00	0,00	100,32
CDC1119-C10-P1	0,06	20,81	36,50	0,01	0,18	14,86	26,41	1,48	0,00	0,01	100,34
CDC1119-C10-P1	0,07	20,92	36,54	0,00	0,18	13,77	27,46	1,39	0,00	0,02	100,34
CDC1119-C10-P1	0,08	20,79	36,76	0,04	0,21	13,91	27,12	1,43	0,00	0,00	100,35
CDC1119-C10-P1	0,10	20,82	36,50	0,01	0,22	14,41	26,75	1,54	0,00	0,00	100,35
CDC1119-C10-P1	0,08	20,88	36,66	0,00	0,23	12,20	28,18	2,12	0,00	0,00	100,35
CDC1119-C10-P1	0,04	20,90	36,79	0,03	0,23	12,16	28,19	2,02	0,00	0,00	100,35
CDC1119-C10-P1	0,07	20,68	36,73	0,03	0,26	13,71	27,68	1,22	0,00	0,01	100,39
CDC1119-C10-P1	0,09	20,80	36,36	0,02	0,23	14,90	26,63	1,37	0,00	0,00	100,40
CDC1119-C10-P1	0,06	20,84	36,60	0,01	0,19	15,58	25,66	1,43	0,04	0,00	100,41
CDC1119-C10-P1	0,10	20,70	36,81	0,03	0,21	14,30	26,69	1,59	0,00	0,00	100,42
CDC1119-C10-P1	0,05	20,85	36,73	0,04	0,25	14,14	26,74	1,64	0,00	0,00	100,43
CDC1119-C10-P1	0,07	20,78	36,74	0,00	0,22	13,43	27,43	1,78	0,00	0,00	100,46
CDC1119-C10-P1	0,06	20,57	36,49	0,02	0,25	13,69	28,15	1,25	0,00	0,02	100,48
CDC1119-C10-P1	0,05	20,97	36,93	0,01	0,27	13,44	26,98	1,84	0,00	0,01	100,51
CDC1119-C10-P1	0,06	20,92	36,94	0,02	0,26	12,23	28,16	1,93	0,00	0,00	100,52
CDC1119-C10-P1	0,11	20,89	36,35	0,00	0,22	13,85	27,40	1,69	0,00	0,02	100,53
CDC1119-C10-P1	0,05	20,73	36,36	0,03	0,23	15,57	26,15	1,41	0,00	0,01	100,53
CDC1119-C10-P1	0,06	20,86	36,79	0,02	0,20	12,39	28,23	1,99	0,00	0,00	100,55
CDC1119-C10-P1	0,07	20,73	36,59	0,01	0,24	15,48	26,03	1,38	0,03	0,00	100,56
CDC1119-C10-P1	0,07	21,00	36,59	0,02	0,24	13,09	27,69	1,86	0,00	0,00	100,58
CDC1119-C10-P1	0,06	20,73	36,59	0,02	0,24	15,25	26,41	1,29	0,00	0,00	100,59
CDC1119-C10-P1	0,04	20,88	36,46	0,00	0,20	15,69	25,99	1,31	0,00	0,01	100,59
CDC1119-C10-P1	0,09	20,77	36,66	0,02	0,21	13,45	27,53	1,86	0,00	0,00	100,60
CDC1119-C10-P1	0,05	20,78	36,41	0,05	0,19	15,96	25,85	1,33	0,00	0,00	100,61
CDC1119-C10-P1	0,06	21,01	36,77	0,00	0,24	12,74	27,85	1,93	0,01	0,00	100,61
CDC1119-C10-P1	0,11	21,11	36,45	0,01	0,20	15,70	25,69	1,39	0,00	0,00	100,65
CDC1119-C10-P1	0,07	20,60	37,06	0,03	0,21	13,19	27,74	1,76	0,00	0,02	100,67
CDC1119-C10-P1	0,02	20,70	36,82	0,00	0,20	14,30	27,16	1,33	0,14	0,01	100,68
CDC1119-C10-P1	0,16	21,10	37,34	0,12	0,26	12,27	28,05	1,52	0,00	0,00	100,82
CDC1119-C10-P1	0,14	20,93	36,72	0,02	0,25	15,14	26,56	1,32	0,00	0,00	101,07
CDC1119-C10-P1	0,13	21,31	37,03	0,03	0,25	15,48	26,06	1,41	0,00	0,00	101,71
CDC1119-C11-P1	0,04	20,66	36,28	0,08	0,28	11,63	28,29	2,03	0,00	0,00	99,28
CDC1119-C11-P1	0,04	20,64	36,72	0,01	0,22	11,24	28,69	2,09	0,00	0,00	99,65
CDC1119-C11-P1	0,03	20,82	36,49	0,03	0,30	11,73	28,34	1,91	0,00	0,00	99,65
CDC1119-C11-P1	0,04	20,74	36,78	0,00	0,25	10,85	29,01	2,13	0,00	0,01	99,80
CDC1119-C11-P1	0,06	20,81	36,47	0,00	0,26	11,41	28,79	2,06	0,00	0,01	99,87
CDC1119-C11-P1	0,03	20,74	36,81	0,00	0,23	11,15	28,80	2,16	0,00	0,02	99,94

CDC1119-C11-P1	0,03	20,95	36,88	0,02	0,23	10,95	28,69	2,24	0,00	0,00	99,99
CDC1119-C11-P1	0,00	20,66	36,79	0,01	0,28	11,01	29,02	2,28	0,00	0,00	100,04
CDC1119-C11-P1	0,04	20,92	36,76	0,03	0,24	10,98	28,88	2,18	0,00	0,03	100,05
CDC1119-C11-P1	0,09	20,86	36,98	0,00	0,24	11,02	28,65	2,23	0,00	0,02	100,09
CDC1119-C11-P1	0,08	20,92	36,69	0,02	0,32	11,16	28,71	2,17	0,01	0,00	100,09
CDC1119-C11-P1	0,07	20,70	36,58	0,03	0,32	11,69	28,78	2,00	0,00	0,00	100,16
CDC1119-C11-P1	0,07	20,86	36,79	0,01	0,25	11,35	28,87	2,02	0,00	0,01	100,23
CDC1119-C11-P1	0,04	20,87	36,60	0,00	0,22	11,80	28,86	1,94	0,00	0,01	100,35
CDC1119-C11-P1	0,07	20,96	36,78	0,01	0,29	11,12	29,10	2,23	0,00	0,00	100,54
CDC1119-C11-P1	0,07	21,15	36,94	0,02	0,26	11,26	28,89	2,11	0,00	0,01	100,70
CDC1119-C11-P1	0,07	20,94	36,80	0,00	0,29	11,53	29,04	2,09	0,00	0,00	100,76
CDC1119-C11-P1	0,10	21,58	37,29	0,32	0,25	11,10	28,12	2,13	0,00	0,00	100,88
CDC1119-C11-P1	0,04	21,00	37,10	0,00	0,24	11,79	28,77	1,98	0,00	0,00	100,92

Tableau d'analyses en éléments traces (LA-ICPMS) des grenats des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en ppm.

Nom_Pts	Type	Li7	Be9	B11	P31	Sc45	Ti47	Rb85	Sr86	Y89	Zr91	Nb93	Sn120	Cs133	Ba137	La139	Ce140	...
CDC119_01	I-b	52	<0.069457	10	637	39	17	<0.19461	0	90	7	<0.007453	1	<0.03687	<0.038741	<0.0094632	<0.010586	...
CDC119_02	I-b	82	<0.064793	9	1258	23	22	0	0	67	14	0	8	<0.036169	0	0	0	...
CDC119_03	I-b	85	<0.084895	9	1284	39	112	<0.21357	0	193	16	4	9	<0.041294	<0.041901	<0.010692	0	...
CDC119_04	I-b	99	0	9	1641	64	294	1	1	320	30	2	11	0	0	<0.0090168	0	...
CDC119_05	I-b	100	<0.079119	10	1054	14	145	<0.19774	0	167	11	0	8	<0.038283	<0.029264	<0.0085999	<0.0095755	...
CDC119_06	I-b	56	<0.084534	10	658	39	24	<0.20562	0	83	6	<0.006978	1	<0.039779	<0.04047	<0.0096186	<0.010464	...
CDC119_07	I-b	91	0	10	1218	13	13	1	0	16	8	0	4	0	0	<0.0098749	0	...
CDC001_C4_02	I-b	128	<3.535	<2.2319	1128	14	15	<0.76443	<13.2546	98	5	<0.044266	<0.71347	<0.16929	<0.52521	<0.030091	<0.016388	...
CDC001_C4_03	I-b	191	<4.5121	<2.5756	1948	6	51	<0.82275	<14.1531	5	7	0	2	<0.19718	<0.63629	<0.050277	<0.021841	...
CDC001_C4_04	I-b	162	<3.46	<2.5142	1467	8	17	<0.82048	<14.0928	10	4	0	2	<0.19365	2	<0.023533	0	...
CDC001_C5_01	I-b	138	<3.2634	<2.2962	1059	14	<14.0279	<0.75817	<12.7579	66	5	<0.03549	<0.70303	<0.18361	<0.65793	<0.02451	<0.0057948	...
CDC001_C5_02	I-b	146	<3.6627	<2.4069	1170	11	<15.5778	<0.84389	<14.3822	73	6	<0.076692	<0.78454	<0.19975	<0.68407	<0.029669	<0.026636	...
CDC001_C5_03	I-b	226	<5.5606	<3.5758	1966	4	36	<1.1216	<18.8418	5	8	1	4	<0.28105	<0.99235	<0.051086	<0.032044	...
CDC001_C5_04	I-b	150	<4.1301	<2.74	1206	3	39	<0.92515	<15.273	1	3	<0.062306	<0.80518	<0.22072	<0.66753	<0.036166	<0.0069279	...
CDC116_C3_01	GranoD,	34	<3.9357	<2.7065	129	248	410	<0.89543	<14.6345	##	82	0	<0.88242	<0.21306	<0.83768	<0.052223	0	...
CDC116_C3_02	GranoD,	30	<3.6902	<2.4305	122	262	##	<0.90135	<14.449	##	98	<0.082103	<0.8216	<0.21413	<0.69017	<0.031204	0	...
CDC116_C3_03	GranoD,	27	<3.5406	<2.4623	127	205	508	<0.82178	<13.5173	988	88	0	<0.77444	<0.2004	<0.66966	0	0	...
CDC116_C3_04	GranoD,	21	<3.7703	<2.4529	129	194	751	<0.84616	<13.7129	877	91	0	<0.72372	<0.21091	<0.54409	<0.043693	1	...
CDC116_C4_01	GranoD,	29	<5.3564	<3.3835	104	273	##	<1.0007	<16.0474	##	90	1	<0.91138	<0.23749	<0.7726	<0.041778	0	...
CDC116_C4_02	GranoD,	29	<4.8836	<2.5272	100	255	##	<0.89229	<14.5935	##	95	0	<0.86192	<0.24245	<0.60311	<0.044906	1	...
CDC116_C4_03	GranoD,	31	<3.9684	<2.8999	120	235	800	<0.94139	<14.8075	##	75	0	<0.78077	<0.21816	<0.64685	<0.045887	1	...
CDC116_C4_04	GranoD,	27	<4.5627	<3.5411	144	260	845	<1.0083	<16.0982	##	92	1	<0.8676	<0.2465	<0.70108	0	1	...

...	Pr141	Nd146	Sm147	Eu151	Gd157	Tb159	Dy163	Hol165	Er167	Tm169	Yb173	Lu175	Hf177	Ta181	Pb208	Th232	U238
...	<0.0053557	<0.018911	0	<0.0052853	1	1	13	3	10	2	18	2	0	<0.0080131	0	<0.0015319	0
...	0	0	0	<0.0058483	1	1	8	3	11	3	27	3	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	3	2	23	6	27	8	86	13	1	1	<0.017343	0	1
...	<0.0046183	0	1	<0.0058963	5	3	41	11	46	12	140	21	1	2	1	<0.0029891	3
...	<0.0037244	<0.0262	0	0	2	2	21	5	20	5	46	6	0	0	<0.014494	<0.0014464	0
...	<0.0045205	<0.024004	0	<0.0066823	1	1	12	3	13	3	25	4	0	0	0	<0.0015082	0
...	<0.0048355	0	0	<0.0058682	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	1	<0.0015026	5
...	<0.037513	<0.1413	0	<0.069477	2	2	15	2	3	0	3	0	<0.1317	0	<0.43469	<0.0066673	0
...	<0.026256	<0.051732	<0.062433	<0.078029	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	<0.46191	<0.0070295	0
...	<0.042559	<0.055761	<0.067466	0	<0.35913	0	1	0	0	0	1	0	0	0	<0.46501	<0.0075571	0
...	<0.020063	<0.17924	0	<0.043614	1	1	11	1	3	0	2	0	0	0	<0.41501	<0.0062738	0
...	<0.035592	<0.056738	0	<0.018999	2	1	12	1	3	0	2	0	0	0	<0.44615	<0.0076595	0
...	<0.050168	<0.13595	<0.32851	<0.14601	<0.4613	<0.043507	0	0	0	0	1	0	0	4	<0.58166	<0.018306	0
...	<0.0085314	<0.055254	<0.16238	<0.082697	<0.36704	<0.024069	0	0	<0.13693	<0.02972	<0.048746	<0.025591	0	0	<0.49483	<0.0074256	0
...	<0.044134	1	4	0	34	13	165	52	212	36	262	38	1	0	<0.45084	0	0
...	0	3	10	1	61	20	203	55	190	28	194	27	1	<0.055355	<0.45203	<0.0074701	0
...	0	6	23	1	105	24	171	31	82	10	64	8	1	<0.038335	<0.39917	0	0
...	1	18	39	2	111	23	156	26	64	8	52	6	1	<0.03835	<0.41857	0	0
...	0	4	16	1	84	26	240	56	173	25	163	22	1	<0.036915	<0.48156	0	0
...	1	14	28	2	94	25	215	50	165	24	164	23	1	<0.032461	<0.44415	<0.017585	0
...	1	21	46	2	139	33	268	54	151	22	149	20	1	0	<0.46771	0	0
...	1	24	52	3	160	34	227	41	109	14	91	12	2	0	<0.48959	0	0

d. Tourmalines des pegmatites

Tableau d'analyses en éléments majeurs (microsonde) des tourmalines des pegmatites du
Cap de Creus. Concentrations en % poids d'oxyde.

Comment	Type	Na2O	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	TiO2	MnO	FeO	F	MgO	BaO	Cr2O3	NiO	Total
CDC097-C1-05	I-b	2,30	33,60	36,35	0,06	0,05	0,00	0,13	10,48	0,37	3,65	0,00	0,00	0,00	87,00
CDC097-C1-06	I-b	1,95	33,95	36,54	0,07	0,03	0,01	0,26	10,74	0,02	2,84	0,00	0,00	0,03	86,42
CDC097-C3-05	I-b	2,10	33,19	35,90	0,05	0,12	0,31	0,11	8,10	0,31	4,89	0,00	0,01	0,01	85,10
CDC097-C3-06	I-b	2,06	33,79	36,26	0,03	0,02	0,08	0,15	10,87	0,00	3,20	0,00	0,00	0,03	86,49
CDC097-C3-07	I-b	2,13	33,54	36,02	0,01	0,10	0,31	0,17	8,98	0,65	4,44	0,00	0,02	0,12	86,49
CDC097-C3-08	I-b	1,90	33,21	35,79	0,04	0,03	0,12	0,10	10,17	0,11	3,62	0,00	0,00	0,02	85,12
CDC097-C4-01	I-b	1,92	33,87	35,61	0,02	0,05	0,00	0,19	11,20	0,22	2,73	0,00	0,00	0,02	85,82
CDC097-C4-02	I-b	2,32	33,64	36,51	0,07	0,12	0,24	0,06	6,57	0,25	5,92	0,00	0,02	0,00	85,71
CDC097-C4-03	I-b	1,96	33,99	35,88	0,05	0,00	0,10	0,21	10,92	0,40	2,54	0,00	0,02	0,00	86,06
CDC097-C4-04	I-b	1,98	33,49	35,47	0,06	0,03	0,01	0,23	11,51	0,20	2,86	0,00	0,00	0,00	85,85
CDC097-C4-05	I-b	2,14	33,41	35,07	0,05	0,11	0,42	0,09	7,76	0,47	5,01	0,00	0,00	0,01	84,54
CDC097-C4-06	I-b	2,15	33,12	34,67	0,10	0,02	0,00	0,21	10,60	0,20	3,13	0,00	0,00	0,04	84,24
CDC097-C4-07	I-b	2,24	33,27	35,47	0,09	0,10	0,24	0,15	6,92	0,72	5,82	0,00	0,01	0,00	85,03
CDC097-C4-08	I-b	1,86	33,53	34,60	0,06	0,03	0,08	0,21	10,54	0,00	2,52	0,00	0,00	0,06	83,49
CDC097-C5-01	I-b	2,43	33,18	35,06	0,07	0,10	0,22	0,18	8,70	0,33	4,58	0,00	0,00	0,11	84,96
CDC100-C2-01	I-b	1,77	34,19	35,18	0,03	0,21	0,52	0,12	11,20	0,15	2,57	0,00	0,00	0,04	85,99
CDC100-C2-02	I-b	1,78	33,53	36,18	0,01	0,26	0,77	0,11	10,63	0,24	2,71	0,02	0,00	0,02	86,26
CDC100-C2-03	I-b	1,73	34,47	36,33	0,06	0,12	0,54	0,07	10,72	0,45	2,58	0,00	0,00	0,04	87,11
CDC100-C2-04	I-b	1,74	34,46	35,77	0,03	0,15	0,47	0,15	10,60	0,58	2,33	0,02	0,03	0,00	86,34
CDC119-C2-07	I-b	1,92	34,12	36,62	0,06	0,11	0,22	0,12	9,06	0,22	3,95	0,00	0,01		86,41
CDC119-C2-08	I-b	1,79	34,38	36,23	0,05	0,08	0,23	0,16	9,53	0,00	3,73	0,00	0,04		86,22
CDC119-C3-05	I-b	1,86	34,52	36,97	0,05	0,24	0,46	0,00	6,85	0,44	5,08	0,00	0,01		86,48
CDC119-C3-06	I-b	2,06	33,83	36,25	0,02	0,14	0,25	0,08	8,43	0,04	4,39	0,00	0,00		85,48
CDC119-C4-01	I-b	1,67	34,67	36,37	0,09	0,06	0,20	0,19	8,62	0,11	3,79	0,00	0,00	0,02	85,79
CDC119-C4-02	I-b	2,07	34,15	36,37	0,05	0,27	0,46	0,00	6,87	0,50	5,42	0,00	0,03	0,02	86,22
CDC119-C5-01	I-b	1,89	33,74	36,41	0,05	0,12	0,23	0,14	9,56	0,26	3,50	0,00	0,00		85,88
CDC119-C5-02	I-b	1,84	33,90	36,40	0,02	0,13	0,27	0,18	8,89	0,00	3,85	0,00	0,00		85,47
CDC119-C5-03	I-b	1,99	33,42	36,32	0,07	0,10	0,25	0,10	9,45	0,34	3,68	0,02	0,00		85,73
CDC124-C3-01	III	1,74	32,58	35,99	0,00	0,04	0,16	0,30	12,16	1,05	2,09	0,01	0,01		86,13
CDC124-C3-02	III	1,70	34,12	35,31	0,05	0,04	0,23	0,12	11,59	0,92	1,08	0,00	0,00		85,18
CDC124-C3-03	III	1,75	33,36	35,74	0,01	0,00	0,13	0,11	13,62	0,33	0,86	0,00	0,01		85,94
CDC124-C3-04	III	1,64	34,23	35,38	0,05	0,00	0,14	0,16	13,40	0,62	0,58	0,00	0,00		86,19
CDC124-C3-05	III	1,23	35,13	36,06	0,04	0,06	0,09	0,25	11,81	0,00	0,67	0,02	0,00		85,36
CDC124-C3-06	III	1,36	35,31	36,01	0,07	0,00	0,12	0,19	11,89	0,51	0,68	0,00	0,00		86,15
CDC60a-C2-01	Veine de Qz	2,00	32,43	36,52	0,08	0,37	0,98	0,05	8,30	0,75	5,22	0,00	0,01		86,71
CDC60a-C2-02	Veine de Qz	2,18	32,71	36,53	0,05	0,27	0,81	0,08	8,06	0,49	5,26	0,00	0,00		86,43
CDC60a-C2-03	Veine de Qz	2,07	32,17	36,96	0,01	0,34	1,03	0,02	7,50	0,71	5,57	0,00	0,08		86,45
CDC60a-C2-04	Veine de Qz	2,05	33,07	36,53	0,06	0,41	0,99	0,05	7,40	0,62	5,69	0,00	0,01		86,89
CDC60a-C3-01	Veine de Qz	2,10	32,53	36,50	0,04	0,10	0,84	0,03	9,02	0,35	4,66	0,00	0,01		86,18
CDC60a-C3-02	Veine de Qz	2,06	32,77	36,14	0,05	0,24	0,97	0,02	8,07	0,66	4,97	0,00	0,06		86,02
CDC60a-C3-03	Veine de Qz	2,06	32,02	36,29	0,08	0,46	1,11	0,10	7,43	0,27	5,55	0,00	0,00		85,36
CDC60a-C6-03	Veine de Qz	1,94	33,14	36,29	0,04	0,15	0,80	0,06	8,99	0,74	4,62	0,00	0,05		86,84
CDC60a-C6-04	Veine de Qz	2,02	33,73	35,97	0,01	0,14	0,74	0,04	8,67	0,18	4,65	0,02	0,01		86,17
CDC60a-C6-05	Veine de Qz	2,09	32,52	35,98	0,07	0,36	0,91	0,08	8,75	0,52	5,20	0,00	0,00		86,48
CDC60a-C6-06	Veine de Qz	2,19	32,08	36,75	0,02	0,19	1,10	0,03	8,66	0,39	4,88	0,00	0,00		86,28
CDC85-C4-01	IV	1,90	34,85	36,36	0,02	0,16	0,15	0,14	8,35	0,57	4,04	0,00	0,00		86,53
CDC85-C4-02	IV	1,48	33,83	36,40	0,01	0,05	0,25	0,04	10,91	0,00	2,40	0,00	0,00		85,36
CDC85-C4-04	IV	1,49	35,62	35,82	0,00	0,03	0,06	0,36	10,48	0,17	1,27	0,00	0,00		85,30
CDC85-C4-05	IV	1,79	33,81	37,20	0,02	0,16	0,51	0,03	7,30	0,18	5,02	0,00	0,00		86,02
CDC85-C4-06	IV	1,90	32,99	36,30	0,04	0,35	0,77	0,06	6,77	0,49	5,99	0,00	0,08		85,73
CDC85-C6-05	IV	2,04	32,44	36,55	0,04	0,15	1,02	0,03	7,28	0,31	5,64	0,00	0,04		85,53
CDC85-C6-06	IV	1,94	33,62	36,75	0,03	0,09	0,40	0,03	6,92	0,00	5,13	0,00	0,00		84,91
CDC85-C6-07	IV	1,94	32,64	37,02	0,00	0,15	0,80	0,02	6,43	0,27	5,93	0,00	0,04		85,24
CDC122-P1_003	III	2,01	33,32	36,48	0,04	0,23	0,61	0,06	8,27	0,00	4,69	0,00	0,02		85,72
CDC122-P1_004	III	2,03	33,36	36,31	0,03	0,21	0,67	0,15	8,82	0,39	4,42	0,00	0,09		86,51
CDC122-P1_005	III	1,84	33,29	36,29	0,09	0,22	0,64	0,09	8,57	0,65	4,50	0,00	0,04		86,23
CDC122-P1_006	III	2,02	33,46	36,37	0,01	0,17	0,66	0,19	9,14	0,86	4,17	0,00	0,04		87,10
CDC122-P1_007	III	2,00	33,49	36,47	0,03	0,14	0,67	0,17	8,43	0,00	4,48	0,00	0,09		85,96
CDC122-P1_008	III	1,95	34,50	36,60	0,08	0,26	0,50	0,12	7,05	0,31	4,83	0,00	0,06		86,24
CDC122-P1_009	III	1,98	34,54	36,58	0,03	0,24	0,52	0,17	6,83	0,18	5,12	0,00	0,03		86,21
CDC122-P1_010	III	2,05	33,76	36,96	0,03	0,29	0,50	0,10	6,78	0,57	5,84	0,00	0,03		86,91
CDC119-P1_002	I-b	2,03	33,80	36,56	0,04	0,19	0,46	0,04	6,72	0,09	5,54	0,00	0,00		85,48
CDC119-P1_003	I-b	1,64	32,26	35,78	0,16	0,34	0,47	0,03	6,69	0,00	4,53	0,00	0,00		81,94
CDC119-P1_004	I-b	1,88	34,04	36,95	0,06	0,22	0,41	0,00	6,92	0,13	5,64	0,00	0,00		86,26
CDC119-P1_005	I-b	2,00	33,80	37,10	0,08	0,21	0,47	0,04	6,84	0,31	5,56	0,00	0,00		86,40
CDC119-P1_006	I-b	1,77	30,99	34,29	0,10	0,26	0,45	0,05	6,71	0,13	4,98	0,00	0,03		79,82
CDC119-P1_007	I-b	1,95	34,12	36,66	0,05	0,26	0,50	0,02	6,85	0,09	5,48	0,03	0,02		86,02
CDC119-P1_008	I-b	1,81	33,55	36,87	0,04	0,22	0,45	0,03	7,08	0,18	5,42	0,00	0,01		85,67
CDC119-P1_009	I-b	1,79	33,94	36,02	0,03	0,11	0,21	0,21	8,98	0,35	3,50	0,00	0,01		85,16

CDC119-P1_010	I-b	1,81	33,74	36,22	0,06	0,10	0,28	0,17	9,34	0,30	3,72	0,00	0,00	85,74
CDC119-P1_011	I-b	1,52	27,15	30,16	0,12	0,27	0,22	0,19	8,86	0,00	3,27	0,00	0,01	71,81
CDC119-P1_012	I-b	1,94	33,74	36,56	0,04	0,13	0,24	0,10	8,91	0,69	3,85	0,00	0,00	86,21
CDC119-P1_013	I-b	1,89	33,97	36,70	0,02	0,13	0,26	0,17	8,80	0,04	3,91	0,00	0,00	85,90
CDC119-P1_014	I-b	1,78	33,78	36,32	0,03	0,11	0,24	0,10	8,89	0,35	3,81	0,00	0,01	85,42
CDC119-P1_015	I-b	1,83	34,00	36,61	0,06	0,12	0,23	0,13	8,81	0,00	3,92	0,00	0,01	85,74
CDC119-P1_016	I-b	2,01	33,95	36,71	0,01	0,14	0,16	0,13	9,08	0,39	3,79	0,04	0,02	86,42
CDC119-P1_017	I-b	1,81	34,41	36,49	0,08	0,18	0,24	0,13	8,95	0,56	3,94	0,03	0,00	86,81
CDC119-P1_018	I-b	1,94	34,11	36,59	0,01	0,12	0,22	0,13	8,66	0,22	3,96	0,00	0,03	85,98
CDC119-P1_019	I-b	1,81	34,14	36,63	0,02	0,10	0,24	0,10	8,56	0,04	3,76	0,00	0,02	85,42
CDC119-P1_020	I-b	1,90	34,02	36,59	0,07	0,15	0,24	0,15	8,84	0,04	3,82	0,00	0,00	85,82
CDC119-P1_021	I-b	1,88	34,18	36,56	0,06	0,10	0,25	0,13	8,82	0,39	4,02	0,00	0,02	86,40
CDC119-P1_022	I-b	1,95	34,06	37,14	0,05	0,13	0,24	0,08	8,55	0,09	4,06	0,00	0,00	86,36
CDC119-P1_023	I-b	1,85	34,22	36,48	0,05	0,10	0,21	0,18	8,68	0,26	3,98	0,00	0,01	86,00
CDC119-P1_024	I-b	1,82	34,17	36,03	0,03	0,11	0,26	0,12	9,07	0,09	3,80	0,00	0,00	85,50
CDC119-P1_025	I-b	1,80	33,84	36,45	0,03	0,10	0,27	0,16	8,62	0,52	3,73	0,03	0,00	85,56
CDC119-P1_026	I-b	1,95	34,29	36,38	0,04	0,07	0,22	0,20	8,74	0,17	3,78	0,00	0,00	85,85
CDC119-P1_027	I-b	1,79	34,18	36,31	0,07	0,12	0,23	0,13	8,99	0,04	3,95	0,00	0,00	85,81
CDC119-P1_028	I-b	1,78	30,61	32,64	0,07	0,22	0,25	0,10	8,13	0,56	3,62	0,00	0,00	78,02
CDC119-P1_029	I-b	1,89	33,90	36,06	0,08	0,12	0,24	0,13	8,43	0,35	4,18	0,00	0,00	85,37
CDC119-P1_030	I-b	1,93	34,16	36,76	0,06	0,13	0,24	0,10	8,94	0,09	4,06	0,00	0,00	86,47
CDC119-P1_031	I-b	1,89	34,27	36,38	0,02	0,10	0,23	0,12	8,42	0,26	3,99	0,02	0,00	85,70
CDC119-P1_032	I-b	1,90	34,01	36,47	0,03	0,16	0,26	0,20	8,62	0,00	4,10	0,00	0,00	85,76
CDC119-P1_033	I-b	1,87	33,63	36,67	0,08	0,13	0,27	0,22	8,91	0,26	4,05	0,00	0,00	86,10
CDC119-P1_034	I-b	1,92	33,67	36,29	0,03	0,12	0,22	0,12	9,05	0,30	4,22	0,00	0,09	86,03
CDC119-P1_035	I-b	1,94	33,58	36,53	0,03	0,19	0,21	0,14	9,06	0,17	4,06	0,00	0,00	85,91
CDC119-P1_036	I-b	1,90	34,17	36,32	0,05	0,13	0,27	0,23	8,80	0,00	4,10	0,00	0,00	85,99
CDC119-P1_037	I-b	1,96	33,68	36,19	0,07	0,15	0,22	0,14	8,99	0,00	4,05	0,00	0,00	85,45
CDC119-P1_038	I-b	1,96	33,86	36,51	0,08	0,13	0,24	0,14	8,73	0,09	4,15	0,00	0,02	85,92
CDC119-P1_039	I-b	1,98	33,69	36,27	0,04	0,12	0,26	0,19	9,01	0,17	4,04	0,01	0,04	85,82
CDC119-P1_040	I-b	1,94	33,66	36,10	0,06	0,11	0,24	0,10	9,22	0,52	4,17	0,00	0,03	86,14
CDC119-P1_041	I-b	1,95	33,90	36,20	0,06	0,15	0,26	0,20	9,11	0,00	4,07	0,00	0,00	85,90
CDC119-P1_042	I-b	1,62	27,90	32,00	0,25	0,31	0,23	0,14	8,70	0,47	3,27	0,05	0,02	75,02
CDC119-P1_043	I-b	1,94	33,48	36,51	0,07	0,12	0,26	0,15	9,01	0,56	3,97	0,00	0,00	86,07
CDC119-P1_044	I-b	1,75	33,79	36,51	0,07	0,15	0,17	0,21	9,00	0,22	3,63	0,00	0,06	85,54
CDC119-P1_045	I-b	1,97	33,47	36,29	0,04	0,05	0,23	0,14	9,22	0,13	3,70	0,00	0,03	85,26
CDC119-P1_046	I-b	1,92	34,10	36,85	0,06	0,24	0,47	0,03	6,69	0,22	5,57	0,00	0,00	86,14
CDC119-P1_047	I-b	1,96	33,46	36,31	0,05	0,22	0,45	0,02	7,13	0,31	5,21	0,00	0,01	85,14
CDC119-P1_048	I-b	2,10	33,46	36,43	0,05	0,29	0,42	0,03	6,92	0,66	5,44	0,01	0,00	85,81
CDC119-P1_049	I-b	1,81	31,95	35,36	0,11	0,36	0,45	0,13	6,89	0,04	5,29	0,00	0,01	82,42
CDC119-P2_002	I-b	1,97	33,55	36,39	0,03	0,31	0,42	0,02	6,61	0,40	5,66	0,00	0,00	85,35
CDC119-P2_003	I-b	1,80	33,56	36,32	0,06	0,24	0,47	0,07	6,88	0,66	5,37	0,00	0,04	85,45
CDC119-P2_004	I-b	1,96	33,74	37,02	0,04	0,19	0,46	0,06	6,85	0,00	5,50	0,00	0,00	85,85
CDC119-P2_005	I-b	1,94	33,37	36,69	0,08	0,25	0,43	0,05	6,88	0,27	5,52	0,02	0,04	85,53
CDC119-P2_006	I-b	1,98	33,61	36,44	0,04	0,26	0,42	0,03	7,07	0,31	5,53	0,00	0,00	85,68
CDC119-P2_007	I-b	2,01	33,53	36,60	0,04	0,18	0,48	0,03	7,03	0,44	5,27	0,00	0,03	85,62
CDC119-P2_008	I-b	1,89	33,57	36,67	0,02	0,24	0,43	0,02	7,21	0,26	5,34	0,00	0,01	85,65
CDC119-P2_009	I-b	1,99	33,98	36,51	0,03	0,19	0,42	0,13	6,97	0,26	5,32	0,00	0,02	85,82
CDC119-P2_010	I-b	1,92	33,60	36,70	0,05	0,12	0,44	0,02	7,03	0,53	5,37	0,00	0,06	85,84
CDC119-P2_011	I-b	1,89	33,46	36,30	0,06	0,26	0,44	0,02	7,23	0,04	5,23	0,00	0,03	84,97
CDC119-P2_012	I-b	1,92	33,45	36,48	0,06	0,21	0,46	0,02	7,19	0,04	5,21	0,00	0,01	85,06
CDC119-P2_013	I-b	1,93	33,63	36,79	0,00	0,15	0,42	0,11	6,86	0,13	5,23	0,01	0,00	85,26
CDC119-P2_014	I-b	2,01	33,68	36,59	0,05	0,13	0,48	0,07	7,06	0,40	5,39	0,00	0,01	85,88
CDC119-P2_015	I-b	1,94	33,65	36,68	0,10	0,15	0,46	0,00	7,30	0,00	5,38	0,00	0,06	85,71
CDC119-P2_016	I-b	1,89	33,41	36,60	0,04	0,18	0,43	0,06	7,01	0,00	5,32	0,00	0,00	84,96
CDC119-P2_017	I-b	1,93	33,80	36,79	0,06	0,18	0,45	0,03	7,05	0,26	5,45	0,00	0,00	85,99
CDC119-P2_019	I-b	1,86	33,59	36,60	0,05	0,17	0,44	0,03	7,23	0,09	5,16	0,00	0,00	85,21
CDC119-P2_020	I-b	1,94	33,41	36,80	0,04	0,18	0,45	0,02	7,20	0,48	5,41	0,04	0,05	86,04
CDC119-P2_021	I-b	2,07	33,50	36,36	0,04	0,21	0,47	0,06	7,01	0,44	5,63	0,00	0,00	85,79
CDC119-P2_022	I-b	2,00	33,56	36,49	0,01	0,21	0,44	0,00	6,72	0,13	5,49	0,00	0,02	85,07
CDC119-P2_023	I-b	2,15	32,62	36,90	0,03	0,17	0,33	0,10	7,02	0,35	5,59	0,00	0,05	85,31
CDC119-P2_024	I-b	1,96	33,71	36,77	0,02	0,23	0,47	0,04	7,06	0,00	5,63	0,00	0,00	85,90
CDC119-P2_025	I-b	1,98	33,70	36,90	0,02	0,23	0,41	0,02	7,08	0,22	5,46	0,00	0,01	86,02
CDC119-P2_026	I-b	1,84	33,43	35,96	0,04	0,15	0,30	0,16	8,68	0,61	4,23	0,00	0,00	85,41
CDC119-P2_027	I-b	1,91	33,81	36,55	0,04	0,18	0,28	0,18	8,73	0,22	4,14	0,00	0,00	86,05
CDC119-P2_028	I-b	2,04	33,49	36,61	0,06	0,16	0,28	0,15	8,77	0,13	4,26	0,00	0,00	85,94
CDC119-P2_029	I-b	2,17	33,43	36,31	0,01	0,11	0,29	0,12	8,83	0,09	4,06	0,00	0,00	85,40
CDC119-P2_030	I-b	1,95	33,07	36,03	0,05	0,12	0,24	0,20	9,11	0,13	3,94	0,00	0,00	84,85
CDC119-P2_031	I-b	2,43	33,68	38,58	0,13	0,28	0,84	0,17	8,12	0,35	3,74	0,00	0,00	88,37
CDC119-P2_032	I-b	2,03	33,50	35,92	0,03	0,21	0,20	0,18	9,17	0,13	3,93	0,00	0,06	85,35
CDC119-P2_033	I-b	1,90	33,45	36,04	0,04	0,11	0,25	0,13	9,48	0,00	3,76	0,00	0,03	85,20
CDC119-P2_034	I-b	1,86	33,36	36,05	0,05	0,15	0,27	0,16	9,32	0,00	3,78	0,00	0,00	85,00
CDC119-P2_035	I-b	1,82	32,46	36,01	0,07	0,10	0,28	0,14	8,94	0,30	3,89	0,00	0,00	84,03
CDC119-P2_036	I-b	1,93	33,35	36,18	0,04	0,15	0,32	0,19	9,49	0,00	3,65	0,00	0,01	85,31
CDC119-P2_037	I-b	1,93	32,92	35,80	0,03	0,21	0,28	0,25	9,70	0,26	3,63	0,00	0,00	85,01
CDC119-P2_038	I-b	1,77	33,27	35,79	0,04	0,11	0,36	0,22	9,29	0,09	3,69	0,00	0,07	84,69
CDC119-P2_039	I-b	1,86	33,30	36,17	0,06	0,11	0,36	0,13	9,15	0,30	3,71	0,00	0,05	85,19

CDC119-P2_040	I-b	1,89	33,40	35,79	0,00	0,09	0,34	0,11	8,94	0,00	4,07	0,00	0,00	84,63
CDC119-P2_041	I-b	1,86	33,17	35,89	0,04	0,14	0,34	0,14	9,10	0,30	3,85	0,00	0,01	84,84
CDC119-P2_042	I-b	1,96	33,16	36,01	0,02	0,07	0,37	0,10	9,02	0,00	4,01	0,00	0,00	84,69
CDC119-P2_043	I-b	1,84	33,13	35,91	0,08	0,12	0,38	0,13	9,17	0,39	3,93	0,00	0,00	85,07
CDC119-P2_044	I-b	1,98	32,96	35,83	0,07	0,09	0,47	0,09	9,08	0,04	3,92	0,00	0,01	84,54
CDC119-P2_045	I-b	1,83	32,87	36,16	0,02	0,11	0,49	0,15	9,21	0,22	4,11	0,00	0,03	85,19
CDC119-P2_046	I-b	1,95	32,94	36,29	0,05	0,22	0,43	0,13	8,88	0,04	4,27	0,00	0,04	85,26
CDC119-P2_047	I-b	1,88	33,17	35,99	0,03	0,10	0,42	0,11	8,56	0,17	4,43	0,00	0,04	84,91
CDC119-P2_048	I-b	2,05	33,18	36,47	0,04	0,18	0,47	0,06	6,91	0,40	5,56	0,00	0,03	85,33
CDC119-P2_049	I-b	2,05	33,16	36,02	0,08	0,22	0,46	0,11	6,69	0,44	5,70	0,00	0,07	85,00
CDC124-P1_002	III	1,61	34,72	35,59	0,05	0,00	0,28	0,27	11,55	0,13	0,97	0,00	0,00	85,18
CDC124-P1_003	III	1,58	34,83	35,44	0,07	0,03	0,27	0,22	11,62	0,38	0,97	0,03	0,00	85,42
CDC124-P1_004	III	1,51	35,29	35,65	0,01	0,00	0,25	0,28	11,51	0,13	0,88	0,00	0,00	85,53
CDC124-P1_005	III	1,21	32,11	34,20	0,15	0,14	0,27	0,24	11,18	0,00	0,68	0,00	0,06	80,26
CDC124-P1_006	III	1,11	30,93	33,26	0,03	0,06	0,42	0,05	11,06	0,34	1,86	0,00	0,03	79,20
CDC124-P1_007	III	1,60	34,89	35,71	0,00	0,01	0,27	0,30	11,32	0,64	0,84	0,00	0,01	85,58
CDC124-P1_008	III	1,51	34,69	35,84	0,01	0,00	0,25	0,27	11,22	0,43	0,84	0,00	0,09	85,14
CDC124-P1_009	III	1,69	34,81	35,36	0,08	0,02	0,27	0,31	11,35	0,80	0,82	0,01	0,00	85,52
CDC124-P1_013	III	1,27	35,36	36,15	0,02	0,03	0,12	0,31	11,80	0,17	0,77	0,00	0,00	86,01
CDC124-P1_016	III	1,62	33,76	36,56	0,01	0,02	0,27	0,13	10,49	0,00	3,18	0,00	0,01	86,06
CDC124-P1_017	III	1,32	35,57	35,56	0,00	0,06	0,08	0,30	12,21	0,13	0,63	0,00	0,00	85,84
CDC124-P1_018	III	1,97	32,30	36,61	0,08	0,02	0,37	0,04	9,59	0,34	4,34	0,00	0,04	85,69
CDC124-P1_019	III	1,28	35,13	35,80	0,03	0,00	0,10	0,29	11,85	0,42	0,64	0,00	0,00	85,58
CDC124-P1_020	III	1,20	35,06	35,81	0,09	0,04	0,11	0,24	11,88	0,47	0,69	0,00	0,00	85,58
CDC124-P1_021	III	1,20	35,37	36,26	0,04	0,00	0,09	0,21	12,12	0,21	0,61	0,00	0,00	86,13
CDC124-P1_022	III	1,31	34,80	35,82	0,02	0,00	0,12	0,20	12,10	0,25	0,90	0,00	0,01	85,58
CDC124-P1_023	III	1,37	33,97	35,75	0,03	0,05	0,18	0,23	12,07	0,17	1,04	0,00	0,03	84,88
CDC124-P1_024	III	1,42	34,43	35,97	0,02	0,00	0,14	0,19	12,01	0,00	1,27	0,00	0,04	85,49
CDC124-P1_025	III	1,22	35,43	36,06	0,05	0,03	0,08	0,23	12,05	0,34	0,70	0,00	0,00	86,19
CDC124-P1_026	III	1,42	35,37	35,72	0,05	0,01	0,12	0,31	12,14	0,13	0,90	0,00	0,08	86,25
CDC124-P1_027	III	1,22	35,24	36,08	0,03	0,03	0,09	0,30	11,62	0,21	0,67	0,00	0,00	85,50
CDC124-P1_028	III	1,26	34,91	35,84	0,02	0,06	0,11	0,32	12,05	0,04	0,71	0,00	0,00	85,32
CDC124-P1_029	III	1,30	34,78	35,89	0,03	0,10	0,09	0,28	12,02	0,00	0,71	0,00	0,00	85,20
CDC124-P1_030	III	1,19	35,03	35,86	0,05	0,00	0,09	0,25	11,69	0,47	0,68	0,00	0,01	85,32
CDC124-P1_031	III	1,32	35,22	36,03	0,03	0,00	0,12	0,22	12,06	0,09	0,62	0,00	0,02	85,72
CDC124-P1_032	III	1,22	35,31	35,94	0,07	0,00	0,08	0,25	11,83	0,04	0,67	0,00	0,01	85,41
CDC124-P1_033	III	1,27	35,44	35,99	0,02	0,00	0,13	0,31	11,99	0,38	0,67	0,00	0,02	86,23
CDC124-P1_034	III	1,26	35,09	36,00	0,08	0,03	0,10	0,36	11,96	0,13	0,67	0,00	0,00	85,70
CDC124-P1_035	III	1,39	34,86	35,63	0,06	0,00	0,13	0,26	11,87	0,30	0,74	0,00	0,00	85,24
CDC124-P1_038	III	1,34	34,81	35,89	0,05	0,02	0,11	0,20	11,93	0,04	0,76	0,02	0,03	85,20
CDC124-P1_039	III	1,32	35,00	36,24	0,01	0,00	0,11	0,27	11,90	0,13	0,66	0,00	0,02	85,65
CDC124-P1_040	III	1,36	35,30	35,96	0,04	0,03	0,10	0,26	11,97	0,51	0,61	0,01	0,06	86,21
CDC124-P1_041	III	1,31	35,12	35,97	0,01	0,03	0,08	0,38	11,91	0,04	0,67	0,00	0,00	85,51
CDC124-P1_042	III	1,25	35,28	35,80	0,02	0,00	0,09	0,26	11,57	0,13	0,69	0,00	0,02	85,11
CDC124-P1_043	III	1,36	35,08	36,22	0,00	0,02	0,10	0,30	12,34	0,17	0,67	0,00	0,00	86,26
CDC124-P1_044	III	1,24	34,98	35,74	0,00	0,00	0,10	0,30	11,95	0,00	0,65	0,00	0,00	84,96
CDC124-P1_045	III	1,30	35,40	35,65	0,05	0,00	0,10	0,30	12,18	0,51	0,63	0,00	0,00	86,12
CDC124-P1_046	III	1,27	35,34	35,42	0,04	0,00	0,11	0,21	12,24	0,46	0,64	0,00	0,01	85,75
CDC124-P1_047	III	1,26	35,44	36,08	0,06	0,00	0,08	0,26	12,00	0,09	0,66	0,00	0,00	85,92
CDC124-P1_048	III	1,39	35,24	35,62	0,03	0,02	0,08	0,35	12,22	0,13	0,65	0,00	0,01	85,73
CDC124-P1_049	III	1,26	34,95	35,92	0,03	0,00	0,09	0,23	11,78	0,00	0,66	0,00	0,05	84,99
CDC124-P1_050	III	1,22	35,04	35,85	0,00	0,04	0,12	0,31	12,28	0,38	0,60	0,00	0,02	85,85

e. CGM des pegmatites

Tableau d'analyses en éléments majeurs (microsonde) des Colombo-tantalite (CGM) des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en % poids d'oxyde.

Comment	MnO	FeO	ZrO2	Sc2O3	Ta2O5	WO3	SnO2	PbO	ThO2	UO2	TiO2	Nb2O5	Al2O3	SiO2	Total
CDC001-C2-01	2,63	16,68	0,00	0,10	7,70	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29	70,74	0,02	0,00	100,37
CDC001-C2-02	2,52	16,39	0,00	0,11	7,78	1,31	0,06	0,00	0,00	0,04	1,39	70,94	0,02	0,00	100,56
CDC001-C2-03	2,48	16,77	0,00	0,09	7,78	1,07	0,01	0,00	0,25	0,00	1,25	71,19	0,03	0,00	100,91
CDC001-C8-01	2,53	14,95	0,00	0,01	21,47	0,06	0,01	0,00	0,00	0,05	0,55	58,39	0,00	0,00	98,00
CDC001-C8-02	2,51	15,84	0,00	0,03	17,10	0,09	0,02	0,00	0,10	0,06	0,58	65,23	0,00	0,00	101,54
CDC001-C8-03	2,60	15,68	0,00	0,00	14,52	0,54	0,04	0,00	0,11	0,00	0,56	67,03	0,01	0,00	101,08
CDC001-C8-04	2,58	15,61	0,00	0,00	14,34	0,30	0,05	0,00	0,03	0,08	0,60	66,11	0,00	0,00	99,69
CDC048-C10-01	5,56	9,88	0,00	0,03	62,47	0,00	0,11	0,00	0,00	0,02	0,55	20,86	0,00	0,00	99,48
CDC048-C10-02	4,89	10,58	0,03	0,02	61,85	0,09	0,17	0,00	0,01	0,09	0,95	20,90	0,00	0,00	99,58
CDC048-C10-03	5,28	9,93	0,45	0,00	60,75	0,00	0,36	0,00	0,15	0,03	1,13	22,23	0,00	0,00	100,31
CDC048-C10-04	6,54	8,97	0,54	0,01	60,20	0,00	0,39	0,00	0,00	0,13	1,13	21,06	0,03	0,00	99,00
CDC048-C6-01	6,33	9,09	0,48	0,03	58,94	0,08	0,27	0,13	0,06	0,40	1,27	22,33	0,04	0,00	99,45
CDC048-C6-02	6,05	8,96	1,06	0,04	60,79	0,00	0,97	0,11	0,00	0,21	1,14	19,88	0,02	0,00	99,21
CDC048-C6-03	5,32	10,54	0,16	0,02	61,47	0,00	0,11	0,00	0,00	0,14	0,40	21,93	0,03	0,00	100,10
CDC048-C6-04	5,70	12,29	0,00	0,03	35,41	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	48,64	0,00	0,00	102,62
CDC048-C6-05	5,97	11,33	0,06	0,04	39,19	0,00	0,10	0,00	0,26	0,12	0,58	43,78	0,02	0,00	101,43
CDC048-C7-01	6,71	12,73	0,00	0,00	15,05	0,11	0,04	0,00	0,00	0,06	0,21	66,43	0,03	0,00	101,37
CDC048-C7-02	6,29	13,14	0,00	0,00	15,93	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06	0,29	66,39	0,02	0,00	102,18
CDC048-C7-03	6,09	12,79	0,02	0,02	18,84	0,21	0,12	0,00	0,17	0,00	0,35	64,79	0,00	0,00	103,40
CDC048-C8-01	7,33	11,50	0,00	0,01	20,41	0,02	0,06	0,00	0,00	0,06	0,22	61,97	0,02	0,00	101,59
CDC048-C8-02	7,50	11,31	0,00	0,01	19,97	0,00	0,03	0,00	0,12	0,11	0,20	63,68	0,01	0,00	102,96
CDC048-C8-03	7,68	11,43	0,02	0,00	17,25	0,22	0,08	0,00	0,00	0,12	0,18	65,10	0,01	0,00	102,08
CDC048-C8-04	7,23	11,26	0,00	0,02	21,98	0,06	0,08	0,00	0,20	0,00	0,10	61,11	0,00	0,00	102,04
CDC048-C8-05	6,18	13,42	0,00	0,00	12,54	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,27	70,33	0,00	0,00	102,90
CDC048-C8-06	6,13	13,61	0,00	0,01	12,24	0,13	0,10	0,00	0,10	0,05	0,31	70,84	0,01	0,00	103,52
CDC048-C9-01	5,93	12,53	0,00	0,00	28,37	0,26	0,07	0,00	0,07	0,00	0,47	55,34	0,00	0,00	103,04
CDC048-C9-02	6,36	12,83	0,00	0,00	15,13	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	0,23	66,02	0,01	0,00	100,81
CDC048-C9-03	4,96	10,80	0,01	0,05	59,25	0,00	0,17	0,00	0,25	0,13	0,68	23,95	0,00	0,00	100,23
CDC048-C9-04	5,17	11,40	0,00	0,02	51,61	0,00	0,12	0,00	0,05	0,08	0,81	31,62	0,00	0,00	100,88
CDC060b-C7-01	6,13	13,43	0,00	0,03	11,73	0,53	0,01	0,00	0,09	0,01	0,27	70,79	0,00	0,00	103,01
CDC060b-C7-02	6,00	12,30	0,04	0,02	28,61	0,00	0,14	0,00	0,00	0,16	1,04	53,26	0,01	0,00	101,59
CDC060b-C7-03	5,66	12,45	0,00	0,03	27,61	0,00	0,25	0,00	0,09	0,05	1,23	50,81	0,00	0,00	98,18
CDC060b-C8-01	5,76	12,36	0,03	0,01	28,65	0,00	0,04	0,00	0,00	0,07	0,60	54,05	0,00	0,00	101,56
CDC060b-C8-02	5,76	12,27	0,21	0,01	26,77	0,16	0,16	0,00	0,14	0,08	0,75	53,62	0,00	0,00	99,93
CDC060b-C9-01	5,53	12,99	0,00	0,01	26,73	0,05	0,23	0,00	0,07	0,02	1,04	55,73	0,01	0,00	102,40
CDC060b-C9-02	5,56	13,03	0,00	0,00	27,23	0,00	0,18	0,00	0,00	0,01	1,04	53,21	0,03	0,00	100,29
CDC060b-C9-03	5,60	12,43	0,09	0,01	28,81	0,10	0,28	0,00	0,00	0,12	1,36	52,20	0,00	0,00	100,99
CDC060b-C9-04	6,02	12,41	0,00	0,04	23,59	1,75	0,04	0,00	0,05	0,12	0,81	56,15	0,01	0,00	100,97
CDC060b-C9-05	6,05	13,76	0,00	0,03	10,14	0,70	0,00	0,01	0,09	0,00	0,40	69,33	0,01	0,00	100,52
CDC060b-C9-06	5,56	12,86	0,00	0,03	29,63	0,02	0,32	0,00	0,27	0,11	1,43	49,64	0,00	0,00	99,86
CDC060b-C9-07	5,28	12,87	0,00	0,01	30,51	0,37	0,24	0,00	0,00	0,18	1,29	49,68	0,02	0,00	100,45
CDC060b-C9-08	4,91	13,31	0,00	0,01	25,70	0,44	0,25	0,00	0,03	0,03	0,99	54,01	0,01	0,00	99,68
CDC074-C7-01	5,47	12,70	0,00	0,04	31,84	0,16	0,10	0,00	0,02	0,00	0,23	49,77	0,00	0,00	100,32
CDC074-C7-02	5,90	12,52	0,00	0,03	29,22	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	0,22	50,66	0,00	0,00	98,70
CDC074-C7-03	5,75	12,54	0,00	0,01	29,20	0,00	0,05	0,02	0,02	0,00	0,26	51,36	0,01	0,00	99,21
CDC074-C7-04	5,80	12,54	0,00	0,03	27,61	0,43	0,20	0,00	0,00	0,00	0,49	54,39	0,02	0,00	101,50
CDC074-C7-05	6,11	11,11	0,00	0,02	40,97	0,29	0,12	0,00	0,00	0,00	0,33	41,73	0,00	0,00	100,69
CDC074-C7-06	5,95	11,26	0,00	0,04	41,43	0,00	0,11	0,00	0,03	0,00	0,28	40,03	0,00	0,00	99,12
CDC074-C7-07	6,12	11,60	0,00	0,01	36,49	0,05	0,12	0,00	0,20	0,00	0,27	45,63	0,00	0,00	100,49
CDC074-C7-08	6,02	11,30	0,00	0,00	37,51	0,00	0,13	0,00	0,17	0,00	0,30	43,73	0,01	0,00	99,16
CDC074-C7-09	6,12	11,20	0,00	0,01	39,04	0,10	0,15	0,00	0,00	0,05	0,23	43,50	0,00	0,00	100,40
CDC078-C5-01	5,65	11,38	0,04	0,03	38,63	0,20	0,22	0,00	0,00	0,00	0,11	43,81	0,01	0,00	100,07
CDC078-C5-02	8,35	9,19	0,25	0,01	34,01	0,00	0,47	0,00	0,00	0,04	0,15	47,27	0,01	0,00	99,75
CDC078-C5-03	5,21	10,42	0,00	0,04	58,44	0,00	0,26	0,00	0,00	0,04	0,21	24,83	0,00	0,00	99,45
CDC078-C5-04	5,43	10,47	0,10	0,05	60,70	0,00	0,33	0,00	0,08	0,14	0,28	23,37	0,00	0,00	100,95
CDC078-C6-01	3,71	11,79	0,00	0,02	57,63	0,00	0,10	0,00	0,11	0,00	0,13	26,21	0,00	0,00	99,71
CDC078-C6-02	2,03	13,19	0,00	0,02	60,60	0,00	0,09	0,00	0,04	0,01	0,13	23,08	0,00	0,00	99,18
CDC078-C6-03	5,09	10,32	0,06	0,04	60,09	0,00	0,22	0,07	0,10	0,06	0,07	22,75	0,00	0,00	98,87
CDC078-C6-04	2,85	12,82	0,00	0,03	55,36	0,00	0,09	0,00	0,17	0,00	0,08	27,63	0,00	0,00	99,04
CDC078-C6-05	6,04	11,32	0,00	0,03	37,85	0,00	0,14	0,01	0,08	0,00	0,26	43,91	0,00	0,00	99,64
CDC078-C7-01	6,93	11,94	0,22	0,02	15,46	0,89	0,28	0,00	0,05	0,11	0,66	63,28	0,01	0,00	99,81
CDC081-C4-01	6,83	11,07	0,12	0,02	29,65	0,00	0,21	0,01	0,12	0,04	0,52	48,96	0,01	0,00	97,55
CDC081-C4-010	6,46	10,87	0,00	0,00	39,97	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06	0,04	42,81	0,00	0,00	100,22
CDC081-C4-02	7,60	10,75	0,00	0,00	28,38	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02	0,28	53,62	0,00	0,00	100,72
CDC081-C4-03	6,54	10,82	0,00	0,01	39,81	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	43,11	0,03	0,00	100,41
CDC081-C4-04	7,64	10,17	0,00	0,02	36,62	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,10	46,03	0,00	0,00	100,65
CDC081-C4-05	7,45	9,86	0,00	0,02	38,50	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,16	47,20	0,01	0,00	103,23
CDC081-C4-06	4,85	12,64	0,00	0,03	41,07	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,37	42,81	0,01	0,00	101,82
CDC081-C4-07	7,13	12,29	0,00	0,01	17,82	0,20	0,10	0,00	0,09	0,05	0,27	63,66	0,00	0,00	101,61

CDC081-C4-08	5,85	11,08	0,02	0,03	44,99	0,00	0,12	0,00	0,06	0,00	0,21	38,39	0,02	0,00	100,77
CDC081-C4-09	7,15	9,56	0,00	0,03	45,61	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,11	36,28	0,00	0,00	98,83
CDC081-C5-01	6,54	9,35	0,00	0,03	57,89	0,00	0,05	0,04	0,00	0,07	0,17	25,05	0,01	0,00	99,18
CDC081-C5-02	7,14	10,82	0,00	0,01	31,04	0,18	0,08	0,00	0,00	0,12	0,36	49,24	0,00	0,00	98,98
CDC081-C5-03	3,73	12,47	0,00	0,04	54,55	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,48	28,30	0,00	0,00	99,63
CDC081-C5-04	5,25	10,40	0,01	0,02	61,00	0,00	0,13	0,00	0,13	0,04	0,35	21,71	0,00	0,00	99,03
CDC081-C6-01	5,38	9,62	0,17	0,03	61,46	0,00	0,33	0,00	0,00	0,08	0,52	21,18	0,00	0,00	98,77
CDC081-C6-02	5,40	10,02	0,05	0,03	60,54	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,62	22,90	0,00	0,00	99,86
CDC081-C6-03	5,68	11,60	0,00	0,04	41,25	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,35	40,77	0,00	0,00	99,97
CDC081-C6-04	3,03	13,02	0,00	0,02	53,06	0,00	0,32	0,03	0,00	0,00	0,62	28,39	0,02	0,00	98,51
CDC081-C6-05	3,99	11,82	0,04	0,01	58,30	0,00	0,18	0,04	0,07	0,11	0,49	24,63	0,01	0,00	99,69
CDC081-C6-06	3,97	11,69	0,00	0,04	61,36	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,39	21,88	0,01	0,00	99,43
CDC081-C7-01	8,30	10,61	0,08	0,00	21,71	0,00	0,26	0,00	0,00	0,03	0,46	59,36	0,01	0,00	100,83
CDC081-C7-02	8,21	10,61	0,07	0,00	21,47	0,06	0,27	0,00	0,00	0,06	0,43	60,76	0,01	0,00	101,94
CDC081-C7-03	8,31	10,88	0,00	0,00	19,90	0,04	0,16	0,00	0,08	0,08	0,32	61,74	0,01	0,00	101,51
CDC081-C7-04	7,29	12,63	0,00	0,00	14,96	0,00	0,08	0,00	0,00	0,06	0,45	65,88	0,00	0,00	101,36
CDC081-C7-05	5,86	13,34	0,00	0,00	16,60	0,14	0,15	0,00	0,01	0,01	0,38	65,32	0,00	0,00	101,82
CDC081-C8-01	4,23	14,46	0,00	0,01	22,31	0,05	0,13	0,00	0,16	0,00	0,24	58,49	0,00	0,00	100,09
CDC081-C8-02	8,13	10,91	0,01	0,00	18,44	0,11	0,26	0,00	0,14	0,01	0,28	63,35	0,01	0,00	101,66
CDC081-C8-03	8,52	10,82	0,05	0,00	18,51	0,00	0,15	0,00	0,00	0,05	0,36	64,65	0,00	0,00	103,09
CDC081-C8-04	7,65	11,85	0,00	0,01	15,34	0,05	0,07	0,00	0,00	0,00	0,18	67,29	0,00	0,00	102,43
CDC081-C8-05	7,58	11,94	0,00	0,00	15,39	0,08	0,08	0,00	0,00	0,03	0,24	65,73	0,00	0,00	101,07
CDC081-C8-06	8,18	10,49	0,00	0,00	18,37	0,29	0,19	0,00	0,06	0,00	0,33	63,88	0,00	0,00	101,79
CDC081-C8-07	8,38	10,59	0,00	0,00	18,08	0,00	0,19	0,00	0,12	0,07	0,30	64,24	0,00	0,00	101,97
CDC081-C8-08	7,00	12,18	0,00	0,00	16,29	0,11	0,10	0,00	0,00	0,09	0,20	65,09	0,01	0,00	101,06
CDC091-C5-01	6,64	11,19	0,00	0,16	26,76	0,05	0,05	0,00	0,03	0,00	0,91	52,25	0,00	0,00	98,04
CDC091-C5-02	6,66	10,85	0,00	0,18	33,39	0,26	0,00	0,01	0,14	0,00	0,93	48,88	0,00	0,00	101,29
CDC091-C5-03	6,33	11,23	0,00	0,16	33,11	0,43	0,05	0,00	0,00	0,00	0,96	47,89	0,00	0,00	100,16
CDC091-C5-04	6,71	11,20	0,00	0,14	28,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,66	53,03	0,00	0,00	99,82
CDC091-C5-05	6,36	11,92	0,06	0,27	25,33	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	1,09	55,35	0,01	0,00	100,45
CDC091-C5-06	6,69	10,99	0,00	0,25	35,20	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,52	45,96	0,00	0,00	99,68
CDC105-C1-01	3,44	15,52	0,00	0,00	14,20	0,07	0,02	0,00	0,12	0,07	0,59	64,73	0,00	0,00	98,76
CDC105-C1-02	3,18	15,55	0,00	0,00	17,01	0,26	0,01	0,00	0,00	0,10	0,49	64,61	0,00	0,00	101,19
CDC105-C1-03	3,27	16,08	0,00	0,01	14,56	0,18	0,04	0,00	0,05	0,09	0,75	66,28	0,02	0,00	101,33
CDC105-C1-04	3,30	15,75	0,00	0,00	15,63	0,12	0,05	0,00	0,26	0,06	0,46	62,66	0,00	0,00	98,28
CDC123-C6-03	1,37	15,73			36,27	0,69	0,41			0,01	0,67	43,36		0,00	98,59
CDC123-C6-05	3,77	13,89	0,00	0,02	37,65	0,00	0,10	0,00	0,17	0,00	0,19	45,41	0,01	0,00	101,22
CDC123-C6-06	3,96	13,76	0,00	0,01	37,65	0,00	0,12	0,00	0,10	0,00	0,16	47,48	0,00	0,00	103,23
CDC123-C6-07	4,12	13,97	0,00	0,01	33,80	0,13	0,07	0,00	0,00	0,00	0,18	49,21	0,01	0,00	101,51
CDC123-C6-08	3,86	13,96	0,00	0,00	35,41	0,00	0,07	0,00	0,06	0,00	0,14	49,02	0,01	0,00	102,51
CDC123-C7-04	3,90	12,62			44,79	0,93	0,31			0,00	0,18	36,12		0,00	98,90
CDC123-C7-06	3,92	12,61			47,60	1,07	0,37			0,00	0,15	33,44		0,00	99,16
CDC123-C8-01	3,44	12,65	0,00	0,03	51,74	0,10	0,03	0,00	0,11	0,02	0,14	33,00	0,00	0,00	101,27
CDC123-C8-02	4,12	12,52	0,00	0,02	49,48	0,00	0,10	0,00	0,11	0,00	0,14	33,85	0,03	0,00	100,38
CDC123-C8-03	3,39	14,09	0,00	0,02	38,34	0,00	0,09	0,00	0,02	0,00	0,13	46,07	0,01	0,00	102,14
CDC123-C8-04	3,24	13,91	0,00	0,00	37,11	0,00	0,09	0,00	0,00	0,10	0,16	45,51	0,05	0,00	100,18
CDC123-C8-05	3,98	12,37	0,00	0,03	54,27	0,00	0,08	0,00	0,01	0,03	0,00	30,02	0,00	0,00	100,79
CDC123-C8-06	3,46	13,27	0,00	0,00	42,24	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,12	40,47	0,08	0,00	99,69
CDC123-C8-07	6,36	8,68	0,00	0,02	64,09	0,00	0,25	0,06	0,00	0,00	0,01	20,94	0,00	0,00	100,42
CDC123-C8-08	4,68	10,91	0,00	0,03	54,87	0,00	0,13	0,02	0,00	0,11	0,10	30,59	0,04	0,00	101,47

f. Apatites des pegmatites

Tableau d'analyses en éléments majeurs (microsonde) des apatites des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en % poids d'oxyde.

Comment	F	Cl	H2O	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	SrO	Al2O3	La2O3	Ce2O3	SiO2	P2O5	SO3	O=F, Cl	Total
CDC051-C3-05	2,31	0,04	0,76	0,01	0,00	57,47	0,08	0,00	0,09	0,01	0,09	0,00	0,02	45,95	0,00	0,98	105,85
CDC051-C3-06	2,27	0,03	0,75	0,01	0,05	57,34	0,06	0,01	0,08	0,00	0,01	0,03	0,04	44,85	0,01	0,96	104,59
CDC051-C3-07	3,10	0,06	0,32	0,03	0,00	57,12	0,04	0,00	0,11	0,06	0,04	0,00	0,05	44,47	0,05	1,32	104,14
CDC055-01	2,41	0,38	0,51	0,00	0,00	50,06	3,38	0,45	0,26	0,00	0,00	0,00	0,11	43,64	0,02	1,10	100,12
CDC055-02	2,61	0,12	0,48	0,02	0,00	51,97	1,68	0,20	0,27	0,00	0,08	0,05	0,02	43,33	0,10	1,12	99,79
CDC055-03	2,75	0,28	0,36	0,02	0,00	49,40	3,77	0,94	0,08	0,00	0,08	0,00	0,10	43,24	0,00	1,22	99,80
CDC055-05	2,88	0,07	0,39	0,00	0,00	53,69	0,66	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,04	44,65	0,00	1,23	101,31
CDC055-06	3,49	0,16	0,06	0,08	0,02	50,43	2,82	0,72	0,27	0,06	0,12	0,11	0,06	44,54	0,04	1,51	101,47
CDC055-07	3,28	0,18	0,14	0,00	0,00	51,94	1,78	0,20	0,15	0,03	0,00	0,07	0,08	43,96	0,00	1,42	100,38
CDC055-08	3,22	0,23	0,14	0,00	0,03	50,15	3,41	0,68	0,26	0,03	0,04	0,11	0,07	43,42	0,01	1,41	100,40
CDC055-10	3,30	0,22	0,14	0,00	0,04	51,77	2,23	0,40	0,21	0,07	0,11	0,00	0,07	44,29	0,00	1,44	101,40
CDC055-11	2,84	0,26	0,34	0,00	0,00	50,78	3,13	0,61	0,08	0,00	0,00	0,07	0,09	43,79	0,00	1,25	100,74
CDC055-12	3,05	0,21	0,25	0,00	0,03	51,27	3,06	0,40	0,25	0,00	0,10	0,00	0,12	43,58	0,05	1,33	101,06
CDC055-13	3,62	0,16	-0,02	0,03	0,00	52,05	2,14	0,36	0,32	0,09	0,00	0,00	0,42	43,47	0,02	1,56	101,12
CDC055-14	3,08	0,34	0,21	0,02	0,00	51,68	3,13	0,41	0,21	0,00	0,10	0,02	0,08	43,82	0,00	1,37	101,71
CDC055-15	2,45	0,31	0,50	0,01	0,01	50,34	3,69	0,86	0,10	0,03	0,00	0,00	0,02	43,33	0,05	1,10	100,59
CDC055-16	2,90	0,39	0,28	0,00	0,00	50,19	3,74	0,96	0,10	0,02	0,00	0,02	0,04	43,89	0,02	1,31	101,25
CDC055-17	2,58	0,26	0,46	0,03	0,00	49,88	3,91	0,96	0,15	0,04	0,00	0,00	0,07	43,55	0,00	1,14	100,73
CDC055-18	2,87	0,07	0,41	0,00	0,00	53,89	0,93	0,08	0,31	0,00	0,00	0,00	0,06	44,63	0,00	1,22	102,03
CDC055-19	2,77	0,05	0,45	0,00	0,00	54,04	0,69	0,00	0,21	0,06	0,00	0,09	0,03	44,31	0,04	1,18	101,55
CDC055-20	2,67	0,24	0,43	0,00	0,00	50,90	3,26	0,61	0,17	0,00	0,00	0,04	0,02	43,72	0,00	1,18	100,89
CDC055-21	2,87	0,21	0,34	0,00	0,04	50,77	3,48	0,76	0,08	0,01	0,01	0,03	0,08	43,54	0,00	1,25	100,95
CDC055-22	2,37	0,21	0,60	0,06	0,00	50,46	3,71	0,88	0,07	0,00	0,00	0,00	0,08	44,27	0,04	1,04	101,69
CDC056-C5-01	2,35	0,35	0,59	0,01	0,06	55,67	1,58	0,18	0,04	0,01	0,10	0,00	0,00	43,43	0,10	1,07	103,41
CDC056-C5-02	2,32	0,38	0,59	0,02	0,02	55,47	1,67	0,15	0,06	0,02	0,09	0,04	0,00	43,30	0,00	1,06	103,06
CDC056-C6-01	2,56	0,43	0,46	0,00	0,01	55,05	2,14	0,22	0,13	0,07	0,10	0,00	0,02	43,55	0,02	1,18	103,61
CDC056-C6-02	2,48	0,41	0,49	0,00	0,05	54,71	1,63	0,15	0,27	0,07	0,09	0,00	0,00	43,19	0,08	1,14	102,48
CDC056-C7-01	2,59	0,11	0,57	0,01	0,02	57,40	0,29	0,04	0,06	0,03	0,00	0,00	0,01	44,54	0,01	1,11	104,57
CDC056-C7-02	1,86	0,05	0,94	0,00	0,00	57,61	0,07	0,04	0,09	0,03	0,00	0,06	0,00	44,65	0,00	0,80	104,62
CDC060b-C07-01	2,76	0,28	0,40	0,05	0,01	51,78	3,23	0,56	0,10	0,00	0,10	0,01	0,02	44,36	0,00	1,23	102,44
CDC060b-C07-02	2,92	0,34	0,28	0,01	0,03	51,09	3,38	0,62	0,18	0,00	0,00	0,08	0,00	43,71	0,00	1,31	101,32
CDC060b-C07-03	2,93	0,38	0,26	0,00	0,00	50,71	3,30	0,45	0,49	0,01	0,07	0,09	0,02	43,45	0,03	1,32	100,88
CDC060b-C09-01	2,95	0,36	0,28	0,03	0,00	51,81	2,87	0,94	0,19	0,01	0,00	0,03	0,05	44,24	0,03	1,32	102,45
CDC060b-C09-03	2,82	0,36	0,33	0,01	0,00	50,75	3,90	0,62	0,25	0,00	0,00	0,15	0,02	43,62	0,11	1,27	101,67
CDC060b-C09-04	2,60	0,27	0,48	0,00	0,01	51,97	2,84	0,79	0,11	0,01	0,00	0,00	0,04	44,28	0,12	1,16	102,36
CDC060b-C09-05	2,54	0,32	0,48	0,00	0,02	51,35	3,60	0,58	0,20	0,01	0,03	0,00	0,03	43,75	0,06	1,14	101,83
CDC060b-C6-01	2,53	0,33	0,52	0,02	0,00	52,69	3,88	0,48	0,27	0,01	0,00	0,07	0,05	44,62	0,02	1,14	104,35
CDC060b-C6-02	2,76	0,37	0,38	0,00	0,00	52,66	3,62	0,46	0,30	0,00	0,00	0,01	0,04	44,04	0,00	1,25	103,39
CDC060b-C6-03	2,99	0,39	0,26	0,05	0,04	53,29	2,94	0,38	0,21	0,02	0,08	0,05	0,00	43,94	0,06	1,35	103,35
CDC060b-C6-04	2,69	0,33	0,45	0,04	0,00	53,21	3,29	0,39	0,31	0,01	0,02	0,03	0,05	44,76	0,06	1,20	104,44
CDC060b-C6-05	2,58	0,37	0,48	0,00	0,00	52,32	3,74	0,49	0,16	0,00	0,06	0,00	0,02	44,52	0,04	1,17	103,62
CDC060b-C6-06	2,77	0,34	0,39	0,00	0,01	52,43	3,37	0,46	0,20	0,01	0,09	0,00	0,03	44,69	0,01	1,24	103,55
CDC060b-C6-07	2,44	0,26	0,59	0,00	0,00	53,10	3,01	0,52	0,24	0,00	0,11	0,05	0,00	44,88	0,00	1,09	104,12
CDC060b-C6-08	2,59	0,38	0,47	0,03	0,02	52,58	3,71	0,44	0,35	0,01	0,00	0,00	0,01	44,35	0,00	1,18	103,76
CDC060b-C6-09	2,51	0,40	0,50	0,00	0,02	52,71	3,41	0,44	0,27	0,00	0,00	0,00	0,07	44,23	0,00	1,15	103,41
CDC060b-C6-10	2,60	0,40	0,43	0,02	0,00	50,99	3,41	0,42	0,48	0,00	0,07	0,07	0,00	43,94	0,02	1,18	101,65
CDC060b-C6-11	2,76	0,13	0,46	0,00	0,00	55,31	0,26	0,10	0,05	0,00	0,06	0,01	0,02	45,08	0,00	1,19	103,05
CDC075-C1-011	3,08	0,05	0,27	0,01	0,00	52,58	1,80	0,17	0,16	0,04	0,00	0,00	0,19	43,52	0,02	1,31	100,58
CDC075-C1-013	2,84	0,43	0,28	0,00	0,00	50,16	3,25	0,36	0,58	0,06	0,07	0,00	0,24	43,53	0,07	1,30	100,59
CDC075-C1-014	3,58	0,07	0,03	0,04	0,00	50,76	3,15	0,49	0,56	0,00	0,04	0,25	0,01	43,84	0,05	1,52	101,32
CDC075-C1-015	3,66	0,05	0,00	0,02	0,00	52,93	2,08	0,17	0,17	0,04	0,00	0,12	0,12	43,48	0,00	1,55	101,27
CDC075-C1-016	3,48	0,06	0,08	0,00	0,00	52,46	2,41	0,26	0,10	0,03	0,00	0,00	0,08	43,71	0,01	1,48	101,22
CDC075-C1-03	3,46	0,04	0,15	0,02	0,00	54,27	1,40	0,17	0,12	0,01	0,06	0,00	0,08	45,08	0,08	1,47	103,47
CDC075-C1-04	2,52	0,05	0,55	0,06	0,02	51,57	1,87	0,20	0,17	0,13	0,00	0,03	0,56	43,41	0,00	1,07	100,06
CDC075-C1-05	2,46	0,07	0,57	0,05	0,00	51,50	2,51	0,21	0,24	0,00	0,00	0,01	0,14	43,73	0,05	1,05	100,50
CDC078-C07-01	2,91	0,02	0,41	0,02	0,00	55,18	0,38	0,34	0,17	0,05	0,00	0,00	0,03	44,80	0,00	1,23	103,09
CDC078-C07-02	2,85	0,02	0,45	0,01	0,02	55,21	0,39	0,39	0,17	0,02	0,07	0,17	0,04	44,93	0,00	1,20	103,55
CDC078-C07-03	2,93	0,05	0,37	0,05	0,00	54,50	0,34	0,37	0,24	0,00	0,03	0,00	0,01	43,87	0,00	1,24	101,50
CDC078-C08-01	3,04	0,08	0,31	0,06	0,00	53,89	1,06	0,38	0,06	0,00	0,00	0,02	0,02	44,05	0,06	1,30	101,73
CDC078-C08-02	2,89	0,06	0,40	0,02	0,00	54,07	0,95	0,38	0,10	0,00	0,04	0,13	0,01	44,61	0,00	1,23	102,44
CDC078-C08-03	3,41	0,08	0,12	0,03	0,00	53,40	1,04	0,43	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	44,22	0,00	1,45	101,35
CDC086b-01	2,42	0,11	0,60	0,00	0,00	54,71	0,01	0,05	0,05	0,00	0,02	0,09	0,11	44,02	0,05	1,05	101,21
CDC086b-02	2,60	0,11	0,52	0,00	0,00	54,84	0,10	0,00	0,04	0,00	0,08	0,03	0,02	44,09	0,08	1,12	101,39
CDC086b-03	2,43	0,10	0,61	0,02	0,00	54,62	0,01	0,15	0,01	0,00	0,00	0,17	0,08	44,26	0,00	1,05	101,40
CDC086b-04	2,48	0,09	0,58	0,00	0,00	54,66	0,04	0,03	0,07	0,00	0,05	0,04	0,09	44,20	0,00	1,06	101,26
CDC086b-05	2,04	0,09	0,80	0,02	0,00	55,03	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	44,04	0,00	0,88	101,36
CDC086b-06	2,36	0,08	0,65	0,00	0,00	54,38	0,07	0,19	0,05	0,03	0,00	0,06	0,04	44,82	0,00	1,01	101,72
CDC086b-07	2,41	0,10	0,63	0,00	0,00	55,46	0,00	0,07	0,06	0,00	0,15	0,02	0,10	44,22	0,00	1,04	102,19
CDC086b-08	2,18	0,12	0,74	0,00	0,00	55,39	0,10	0,04	0,00	0,02	0,06						

CDC086b-15	2,34	0,10	0,68	0,00	0,00	55,43	0,06	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,07	44,94	0,06	1,01	102,71
CDC086b-16	2,45	0,11	0,62	0,00	0,00	55,20	0,06	0,04	0,01	0,03	0,09	0,02	0,12	44,76	0,07	1,06	102,53
CDC086b-17	2,52	0,10	0,59	0,00	0,00	55,33	0,00	0,03	0,01	0,05	0,20	0,03	0,08	44,81	0,04	1,08	102,70
CDC086b-18	2,05	0,09	0,82	0,00	0,00	55,72	0,00	0,09	0,00	0,04	0,11	0,00	0,05	44,71	0,02	0,88	102,81
CDC086b-19	2,22	0,12	0,71	0,02	0,00	55,17	0,07	0,12	0,03	0,02	0,00	0,14	0,14	44,06	0,00	0,96	101,86
CDC086b-20	2,27	0,10	0,70	0,00	0,00	54,95	0,10	0,24	0,02	0,00	0,10	0,10	0,18	44,37	0,06	0,98	102,20
CDC086b-21	2,36	0,10	0,67	0,00	0,00	55,27	0,06	0,12	0,03	0,00	0,04	0,11	0,14	44,79	0,16	1,02	102,83
CDC086b-22	2,50	0,11	0,57	0,01	0,00	54,89	0,09	0,05	0,12	0,01	0,00	0,15	0,19	44,34	0,00	1,08	101,98
CDC086b-23	2,35	0,10	0,67	0,00	0,00	55,17	0,05	0,18	0,03	0,04	0,00	0,01	0,12	44,87	0,00	1,01	102,57
CDC086b-24	1,97	0,11	0,84	0,00	0,00	55,25	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	0,05	0,06	44,30	0,00	0,85	101,80
CDC086b-25	2,24	0,11	0,72	0,00	0,00	55,09	0,10	0,00	0,04	0,04	0,03	0,00	0,03	44,80	0,03	0,97	102,26
CDC086b-26	1,94	0,13	0,86	0,02	0,00	55,08	0,04	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,13	44,58	0,06	0,84	102,05
CDC086b-27	1,97	0,15	0,83	0,01	0,01	55,19	0,06	0,00	0,06	0,04	0,00	0,00	0,10	44,34	0,06	0,86	101,95
CDC086b-28	2,09	0,15	0,78	0,00	0,00	55,41	0,03	0,00	0,07	0,01	0,08	0,13	0,07	44,66	0,10	0,91	102,66
CDC086b-29	2,12	0,12	0,77	0,00	0,02	55,30	0,03	0,00	0,01	0,00	0,11	0,10	0,17	44,65	0,02	0,92	102,50
CDC086b-30	2,78	0,13	0,44	0,00	0,00	54,88	0,05	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,11	44,68	0,00	1,20	101,96
CDC086b-31	2,23	0,12	0,72	0,02	0,00	55,39	0,08	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,04	44,61	0,08	0,97	102,38
CDC086b-32	2,26	0,10	0,71	0,00	0,00	55,17	0,07	0,21	0,09	0,00	0,09	0,08	0,11	44,87	0,00	0,97	102,79
CDC086b-33	2,26	0,11	0,70	0,01	0,01	55,29	0,09	0,17	0,04	0,00	0,08	0,07	0,10	44,47	0,00	0,98	102,43
CDC086b-34	1,95	0,09	0,87	0,08	0,00	55,44	0,04	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,08	44,81	0,06	0,84	102,77
CDC086b-35	2,24	0,11	0,72	0,00	0,00	55,26	0,03	0,15	0,01	0,00	0,00	0,06	0,08	44,78	0,00	0,97	102,47
CDC086b-36	2,55	0,11	0,57	0,00	0,00	55,28	0,08	0,31	0,09	0,00	0,03	0,08	0,13	44,49	0,06	1,10	102,68
CDC112-01	2,41	0,02	0,64	0,02	0,02	54,29	0,18	0,16	0,00	0,02	0,10	0,00	0,07	44,18	0,00	1,02	101,08
CDC112-02	2,67	0,02	0,52	0,00	0,02	54,42	0,33	0,14	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	44,76	0,00	1,13	101,90
CDC112-03	2,12	0,01	0,80	0,04	0,00	54,81	0,36	0,14	0,08	0,00	0,05	0,00	0,02	44,73	0,04	0,90	102,29
CDC112-04	2,58	0,02	0,55	0,11	0,00	54,22	0,32	0,07	0,06	0,00	0,00	0,09	0,01	44,19	0,00	1,09	101,14
CDC112-05	2,49	0,02	0,61	0,08	0,00	54,56	0,35	0,08	0,04	0,00	0,12	0,05	0,00	44,55	0,03	1,05	101,91
CDC112-06	2,82	0,01	0,45	0,04	0,01	54,59	0,27	0,12	0,00	0,03	0,10	0,00	0,02	44,80	0,06	1,19	102,13
CDC112-07	3,17	0,02	0,27	0,03	0,00	54,97	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00	0,12	0,05	44,58	0,05	1,34	102,15
CDC112-08	3,13	0,00	0,30	0,01	0,01	54,72	0,10	0,09	0,14	0,01	0,11	0,08	0,02	44,78	0,00	1,32	102,19
CDC112-09	2,64	0,00	0,54	0,05	0,00	54,82	0,09	0,09	0,06	0,00	0,05	0,00	0,06	44,53	0,05	1,11	101,86
CDC112-10	2,93	0,02	0,40	0,05	0,00	54,72	0,24	0,07	0,06	0,00	0,14	0,01	0,04	44,89	0,03	1,24	102,35
CDC112-11	2,51	0,01	0,57	0,01	0,01	53,82	0,29	0,12	0,00	0,04	0,13	0,02	0,01	43,72	0,04	1,06	100,23
CDC112-12	2,72	0,01	0,47	0,00	0,00	54,22	0,16	0,07	0,00	0,00	0,09	0,00	0,05	43,84	0,05	1,15	100,55
CDC112-13	2,31	0,02	0,68	0,06	0,00	53,97	0,28	0,00	0,10	0,03	0,03	0,06	0,00	44,45	0,00	0,98	101,02
CDC112-14	2,56	0,01	0,57	0,08	0,00	54,52	0,33	0,04	0,03	0,03	0,05	0,12	0,02	44,38	0,00	1,08	101,67
CDC112-15	2,37	0,00	0,65	0,06	0,02	53,94	0,29	0,10	0,08	0,00	0,12	0,07	0,02	44,35	0,02	1,00	101,10
CDC112-16	2,57	0,00	0,56	0,05	0,04	54,44	0,16	0,14	0,07	0,00	0,04	0,00	0,00	44,22	0,07	1,08	101,28
CDC112-17	2,31	0,01	0,67	0,00	0,00	53,87	0,27	0,25	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	43,81	0,00	0,97	100,33
CDC112-18	2,59	0,01	0,54	0,05	0,02	54,15	0,22	0,15	0,00	0,00	0,11	0,03	0,11	43,85	0,05	1,09	100,79
CDC112-19	2,19	0,00	0,73	0,01	0,00	53,87	0,17	0,11	0,06	0,01	0,01	0,00	0,11	43,90	0,04	0,92	100,29
CDC112-20	2,59	0,01	0,53	0,08	0,00	53,96	0,21	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	43,85	0,00	1,09	100,40
CDC112-21	2,68	0,03	0,50	0,03	0,00	54,25	0,15	0,06	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04	44,52	0,04	1,14	101,23
CDC112-22	2,55	0,00	0,57	0,06	0,00	54,40	0,25	0,05	0,09	0,05	0,06	0,02	0,02	44,27	0,00	1,07	101,32
CDC112-23	2,34	0,01	0,67	0,04	0,01	54,35	0,28	0,00	0,01	0,01	0,00	0,12	0,00	44,27	0,00	0,99	101,11
CDC112-24	2,72	0,01	0,48	0,07	0,00	54,42	0,20	0,04	0,02	0,01	0,03	0,08	0,01	44,36	0,02	1,15	101,33
CDC112-25	2,57	0,02	0,58	0,03	0,00	55,20	0,13	0,17	0,00	0,01	0,10	0,00	0,06	44,60	0,04	1,08	102,40
CDC112-26	2,37	0,00	0,66	0,00	0,00	54,92	0,13	0,20	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	44,01	0,08	1,00	101,49
CDC112-27	2,12	0,00	0,78	0,05	0,00	54,34	0,20	0,15	0,10	0,03	0,03	0,17	0,06	43,97	0,09	0,89	101,18
CDC112-28	1,83	0,01	0,92	0,02	0,00	54,20	0,18	0,09	0,00	0,03	0,05	0,17	0,08	44,14	0,03	0,77	100,97
CDC112-29	2,37	0,00	0,64	0,02	0,00	54,12	0,23	0,02	0,03	0,02	0,09	0,00	0,12	43,73	0,02	1,00	100,43
CDC112-30	2,19	0,02	0,74	0,00	0,00	54,39	0,27	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	44,29	0,00	0,92	101,05
CDC112-31	2,65	0,01	0,53	0,01	0,01	54,54	0,19	0,07	0,02	0,00	0,04	0,00	0,08	44,80	0,00	1,12	101,84
CDC112-32	2,63	0,02	0,53	0,06	0,01	54,32	0,28	0,10	0,00	0,03	0,06	0,10	0,17	44,43	0,08	1,11	101,71

Tableau d'analyses en éléments traces (LA-ICPMS) des apatites des pegmatites du Cap de Creus. Concentrations en ppm.

Comment	Li7	Be9	B11	Sc45	Ti47	Fe57	Rb85	Sr86	Y89	Zr91	Nb93	Sn120	Cs133	Ba137	La139	...
CDC055_C1_01	<3,461	<1,071	<4,0766	3	304	5893	<0,37701	1407	1	1	<0,08372	<1,5319	<0,11335	1	8	...
CDC055_C1_02	<3,115	4	<3,5599	1	270	1893	2	2247	9	4	1	<1,3352	<0,1147	3	25	...
CDC055_C1_03	<2,5479	1	<2,7041	2	251	3191	0	1455	13	1	0	<1,0589	<0,067224	1	53	...
CDC055_C1_04	<2,539	<1,0027	<2,631	2	234	4981	2	1101	13	3	19	<1,0455	<0,073828	1	70	...
CDC055_C1_05	9	22368	<5,5406	<1,0685	189	1939	5	3232	9	2	2	5	<0,14676	3	20	...
CDC055_C3_01	20	<2,1321	<3,6738	2	198	5041	1	2759	4	2	0	<1,499	0	587	8	...
CDC055_C3_02	48	3513	8	3	202	5966	105	3086	3	0	11	21	22	33	20	...
CDC055_C3_03	<4,2603	<1,9881	<3,5718	2	180	3336	1	2158	4	1	0	<1,5498	0	2	7	...
CDC084_C1_03	14	4	15	2	257	3032	199	3869	11	7	8	24	3	40	17	...
CDC084_C3_01	<2,8449	<1,2924	<1,9501	1	166	2234	<0,25153	5133	10	<1,3416	<0,046633	<0,87575	<0,072512	1	30	...
CDC084_C3_02	<2,8115	<1,1543	<1,9579	1	144	2091	<0,24528	4828	13	<1,3323	<0,029306	<0,8337	<0,068904	1	25	...
CDC084_C3_03	<3,3103	<1,4628	<2,3783	1	124	1933	<0,28419	4656	26	<1,5082	<0,038223	<1,0161	<0,078447	1	41	...
CDC084_C4_02	<5,1047	3	<3,3502	1	121	1608	<0,46795	4500	11	<2,1776	0	<1,4906	<0,13086	3	20	...
CDC084_C4_03	<2,6924	<0,67262	<2,5731	1	64	1735	<0,55879	4162	10	<1,8398	<0,060843	<0,59217	<0,20844	2	17	...
CDC084_C4_04	<3,6794	<1,165	<3,4496	1	72	2075	<0,73572	4596	16	<2,6943	<0,095682	<0,82831	<0,29663	1	27	...
CDC084_C4_05	<3,2465	<0,9355	<2,9056	1	71	2274	<0,64521	4506	20	<2,3769	<0,077043	<0,69955	<0,24364	1	25	...
CDC084_C4_06	<3,9606	<1,1808	<3,5358	1	63	2051	<0,78192	4200	17	<2,8997	<0,093628	<0,86622	<0,28689	<0,9873	20	...
CDC084_C4_07	17	2	<3,506	1	61	1683	2	4151	23	<3,0286	<0,09533	1	1	3	23	...
CDC084_C4_08	<4,6822	<1,441	<4,1636	1	58	2145	<0,93366	4865	11	<3,554	<0,11754	<1,0512	<0,33916	<1,0671	19	...
CDC079_C1_01	<5,4811	4	<3,8454	1	154	2254	2	2810	18	<2,2343	0	<1,5935	<0,13439	2	27	...
CDC079_C2_01	4	4	<2,7454	1	147	2709	<0,34794	2464	104	<1,6384	0	<1,2198	<0,086206	4	41	...
CDC079_C2_02	<4,2579	<1,9964	<2,9632	2	142	3043	0	2502	28	<1,6272	<0,026029	2	<0,10832	2	45	...
CDC079_C3_01	<4,6587	5	<3,3338	1	131	2010	<0,40074	2504	65	<1,6725	<0,064473	<1,3441	0	2	65	...
CDC079_C3_02	<5,2033	6	<3,2711	1	126	2263	1	2768	78	<1,8845	0	<1,5012	1	5	60	...
CDC079_C3_03	<8,5578	<4,4936	<5,9748	2	102	2139	7	3002	69	<3,2327	0	<2,4922	<0,20279	4	48	...
CDC079_C4_02	8	11	<3,3474	2	137	1911	<0,37664	2020	33	<1,8266	0	<1,4695	<0,11702	2	22	...
CDC056_C5_01	<6,4269	3	<5,0144	<0,98667	70	936	<1,3336	1565	64	<5,6329	2	<1,4641	<0,51136	4	43	...
CDC056_C5_02	<6,8503	<2,0943	<5,4028	<0,98198	70	1493	<1,3938	1488	70	<5,4838	1	<1,5082	<0,52008	3	39	...
CDC056_C5_03	<7,39	2	<5,9461	1	71	2319	<1,4606	1942	51	<6,1414	2	<1,6173	<0,57164	2	47	...
CDC056_C5_04	<5,7602	2	<4,5066	<0,84748	82	1626	<1,1426	2099	40	<4,6156	1	<1,3534	<0,41555	2	34	...
CDC56_01	<0,28828	4	13	1	174	1681	<0,19556	1016	118	2	1	1	<0,038701	4	35	...
CDC56_02	<0,24962	9	11	2	144	2719	<0,16506	1227	44	1	0	1	<0,031278	5	64	...
CDC56_03	1	6	13	1	133	949	<0,16757	1886	149	1	2	1	<0,031414	5	39	...
CDC56_04	<0,25151	5	12	1	138	1575	<0,16802	918	101	1	1	0	<0,031097	3	26	...
CDC56_05	<0,24353	6	12	1	136	3064	<0,16	987	65	1	0	0	<0,029184	4	33	...

	Ce140	Pr141	Nd146	Sm147	Eu151	Gd157	Tb159	Dy163	Ho165	Er167	Tm169	Yb173	Lu175	Hf177	Ta181	Pb208	Th232	U238
... 8	1	1	<0,15673	10	<0,27156	0	0	<0,043977	<0,16315	<0,040559	<0,12429	<0,038636	<0,13161	<0,047362	29	1	57	
... 31	3	8	1	10	2	0	1	0	1	0	1	0	0	<0,045712	45	3	36	
... 76	7	18	2	20	3	0	2	0	1	0	1	0	<0,13581	<0,03842	35	3	43	
... 95	8	20	3	19	2	0	2	0	1	0	1	0	0	31	29	2	45	
... 22	2	5	1	6	1	0	1	0	1	0	1	0	<0,14011	1	48	2	16	
... 8	1	2	0	5	10	0	0	0	0	<0,030588	0	0	<0,10017	<0,021712	52	7	224	
... 23	2	3	0	5	1	0	0	0	0	<0,067152	0	<0,060666	<0,15645	2	58	13	291	
... 8	1	2	<0,69931	1	<0,9529	0	0	<0,20109	<0,39823	<0,041941	<0,30043	0	<0,10647	<0,043206	40	3	157	
... 35	5	18	4	19	4	0	2	0	1	0	1	0	0	1	35	1	35	
... 50	6	22	4	20	3	0	2	0	1	0	1	0	<0,056135	<0,02528	38	21	510	
... 45	5	20	4	17	4	0	2	0	1	0	1	0	<0,056747	<0,031281	28	13	441	
... 78	10	41	10	23	8	1	5	1	2	0	1	0	<0,080539	0	31	39	545	
... 44	5	20	4	14	3	0	2	0	1	0	1	0	<0,1113	<0,025485	29	3	42	
... 36					3						1	0	<0,19888	<0,063076	23	5	298	
... 61					5						1	0	<0,22998	<0,09481	25	9	382	
... 56					7						1	0	<0,18936	<0,083903	32	19	435	
... 47					5						1	0	<0,22453	<0,11293	30	6	315	
... 56					7						1	0	<0,28342	<0,11603	29	12	302	
... 45					4						1	0	<0,43095	<0,14373	31	9	389	
... 54	7	26	8	18	6	1	3	0	1	0	1	0	<0,12148	<0,080941	66	1	35	
... 121	21	113	38	12	38	4	18	3	6	1	3	0	<0,11164	0	74	3	79	
... 91	12	47	11	14	9	1	5	1	2	0	2	0	<0,10363	<0,024194	92	5	220	
... 139	18	75	19	17	16	2	10	2	4	1	4	1	<0,098487	0	47	1	7	
... 134	17	70	18	16	17	2	10	2	5	1	4	0	<0,11589	0	50	1	10	
... 111	15	74	20	19	21	2	11	2	4	0	3	0	<0,25519	0	47	0	6	
... 54	8	37	10	10	9	1	5	1	2	0	1	0	<0,10242	0	81	1	117	
... 78					7						6	1	<0,50714	<0,23872	52	9	119	
... 67					7						6	1	<0,58372	<0,20905	62	8	105	
... 92					7						5	1	<0,68415	<0,27707	46	32	244	
... 70					4						4	1	<0,50449	<0,16774	49	13	207	
... 61	6	24	7	6	10	2	15	4	11	2	12	2	0	0	52	19	159	
... 96	8	25	6	7	6	1	8	2	5	1	6	1	0	0	117	10	222	
... 69	7	28	9	5	13	3	19	4	14	2	13	2	0	0	63	28	158	
... 50	5	20	6	5	9	2	13	3	9	1	10	1	0	0	58	15	166	
... 58	5	18	5	6	6	1	9	2	7	1	7	1	<0,022585	0	81	15	213	

3. Planches photos

Planches A4

Planche 1 : Apatite au contact d'une muscovite primaire magmatique.

Planche 2 et 3 : Veines de type I (veines à quartz + muscovite, interstitielles aux minéraux majeurs constituants) plus ou moins abondante en apatite.

Planche 4 et 5 : Veines de type I affectant des muscovites primaires magmatiques.

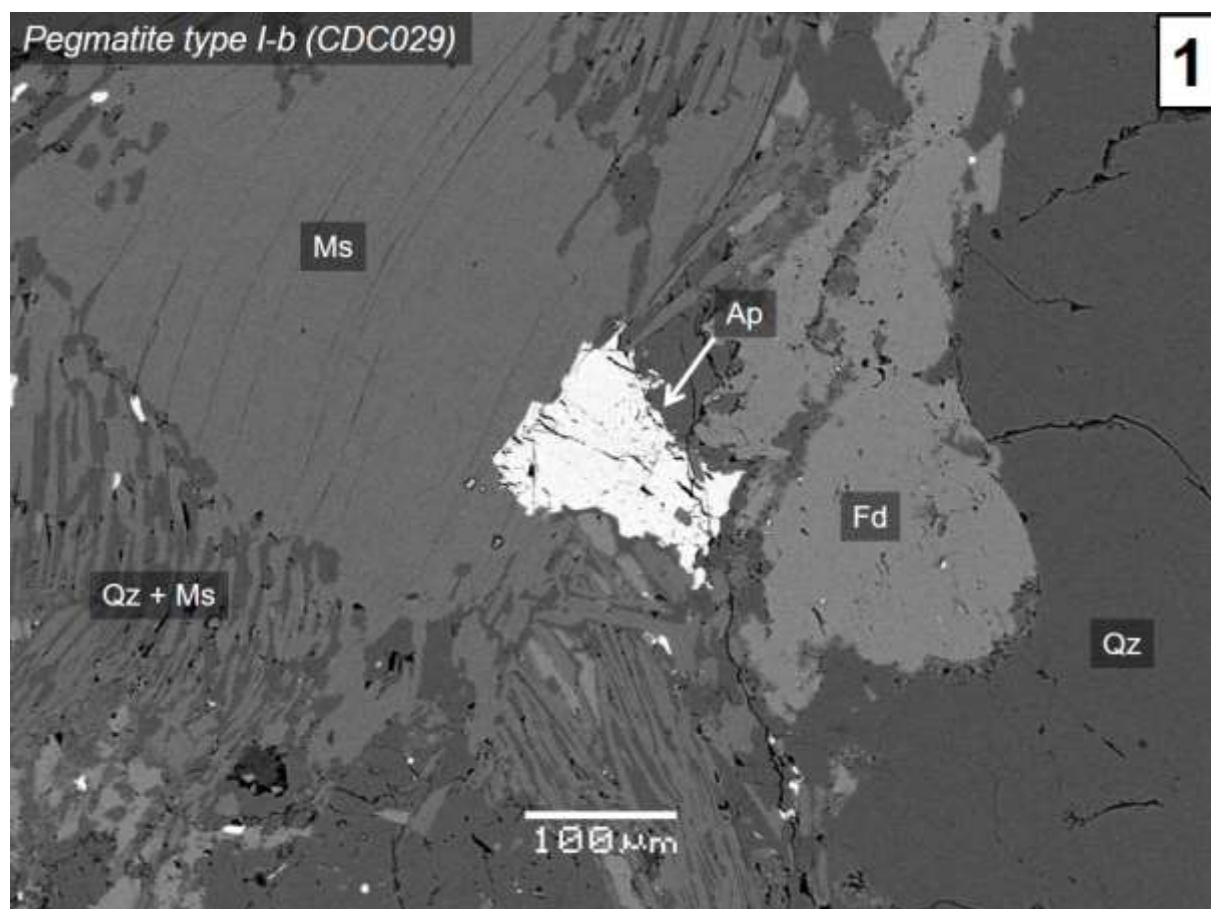
Planche 6 : texture de remplacement de l'apatite au sein d'une veine de type I. L'apatite est remplacée par un phosphate de béryllium.

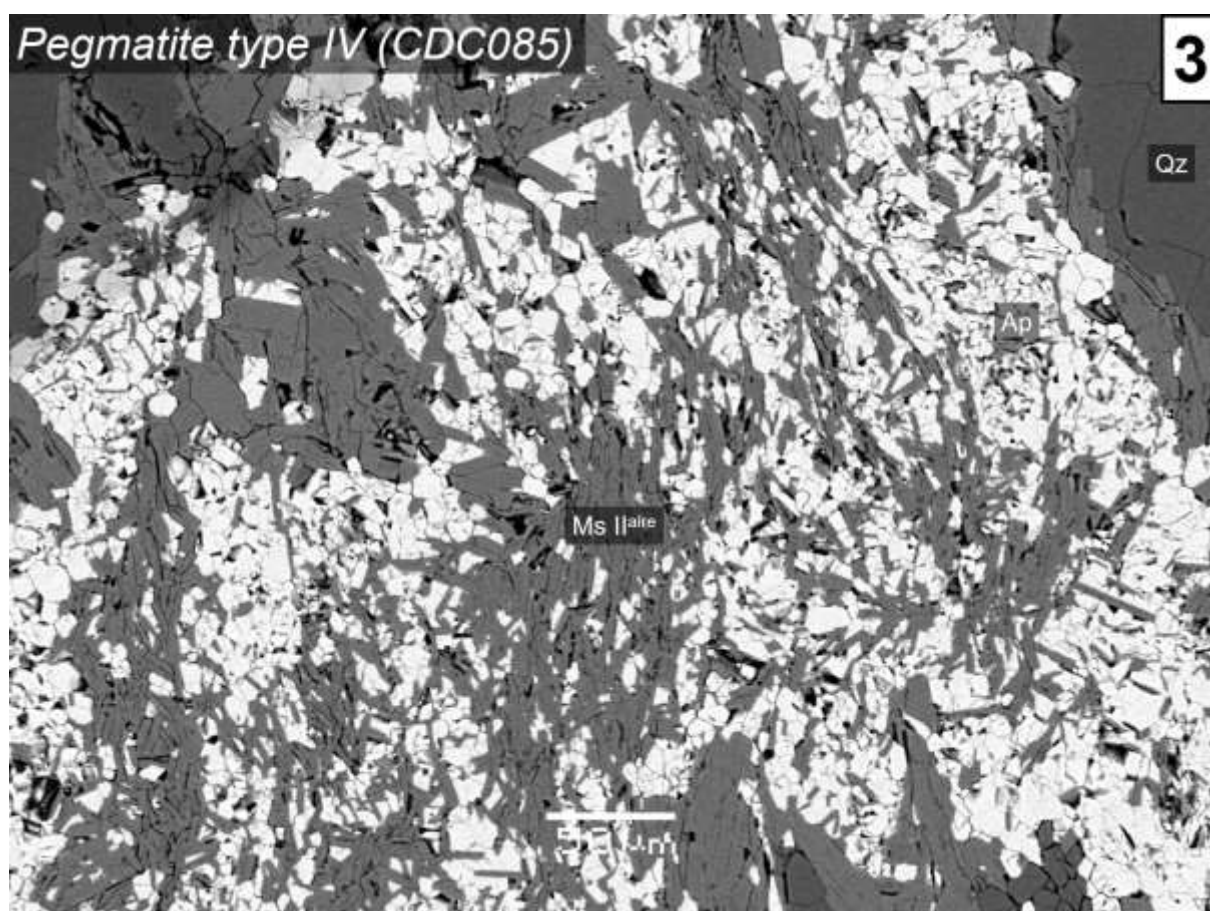
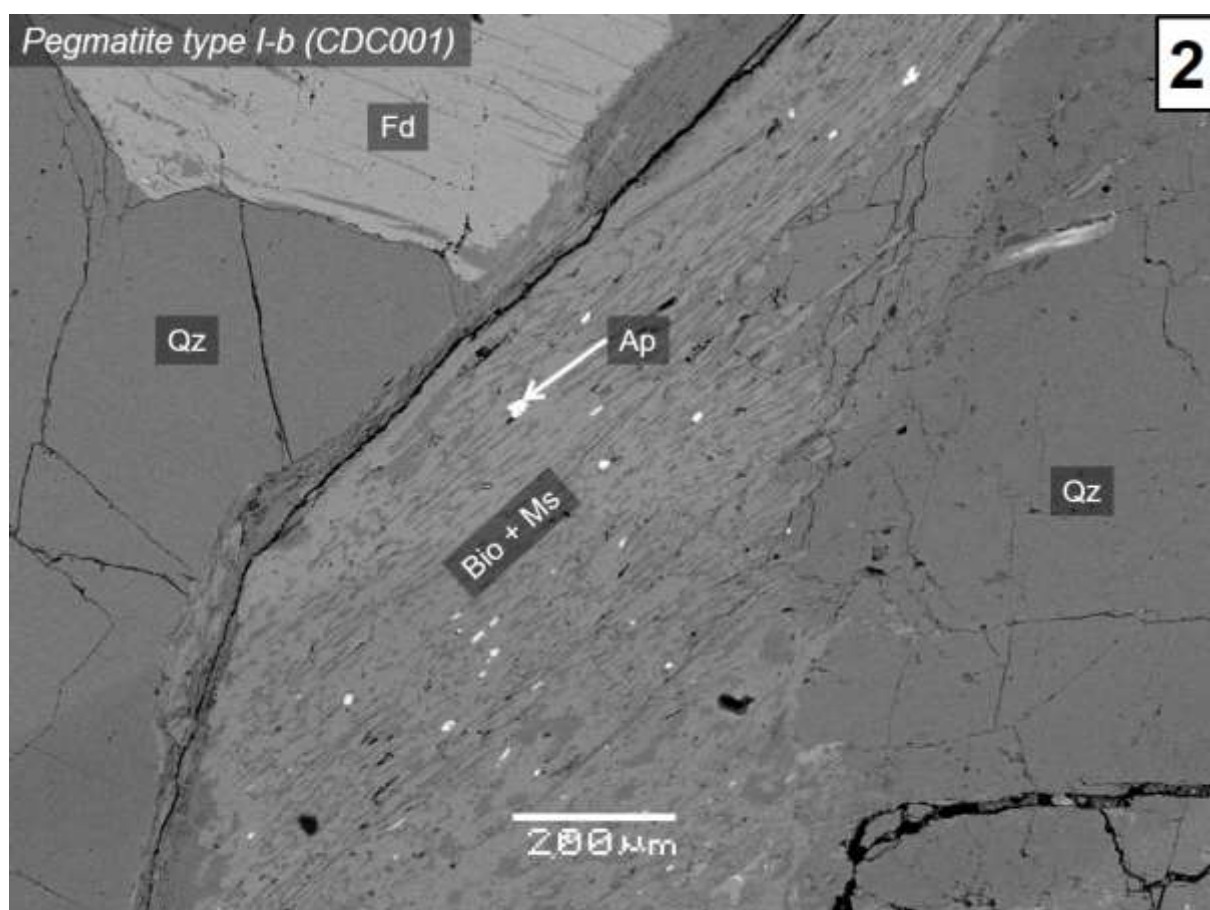
Planche 7 et 8 : Veine de type II (composée exclusivement d'apatite et recoupant l'ensemble des minéraux présents) dans une pegmatite.

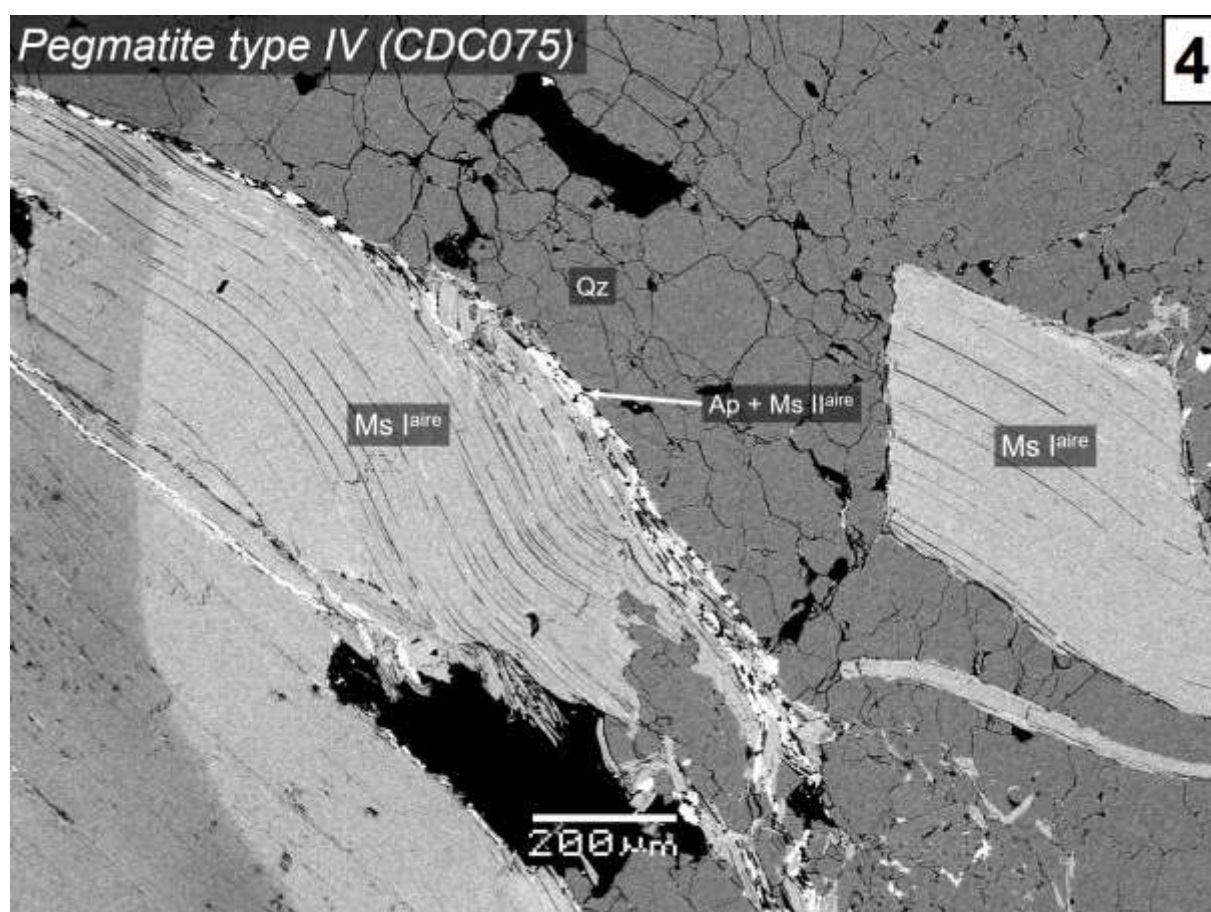
Planche 9, 10 et 11 : Textures de l'apatite dans les roches encaissantes du Cap de Creus.

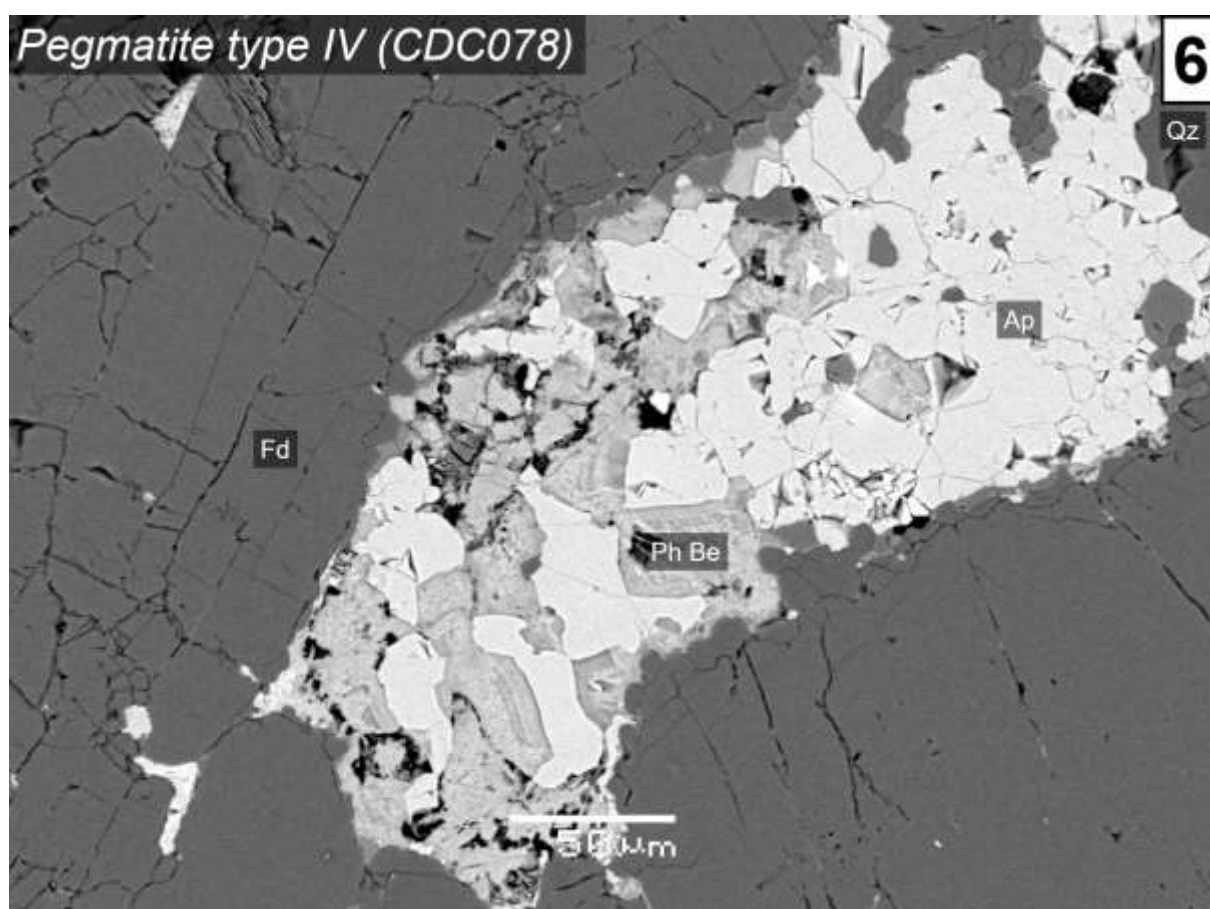
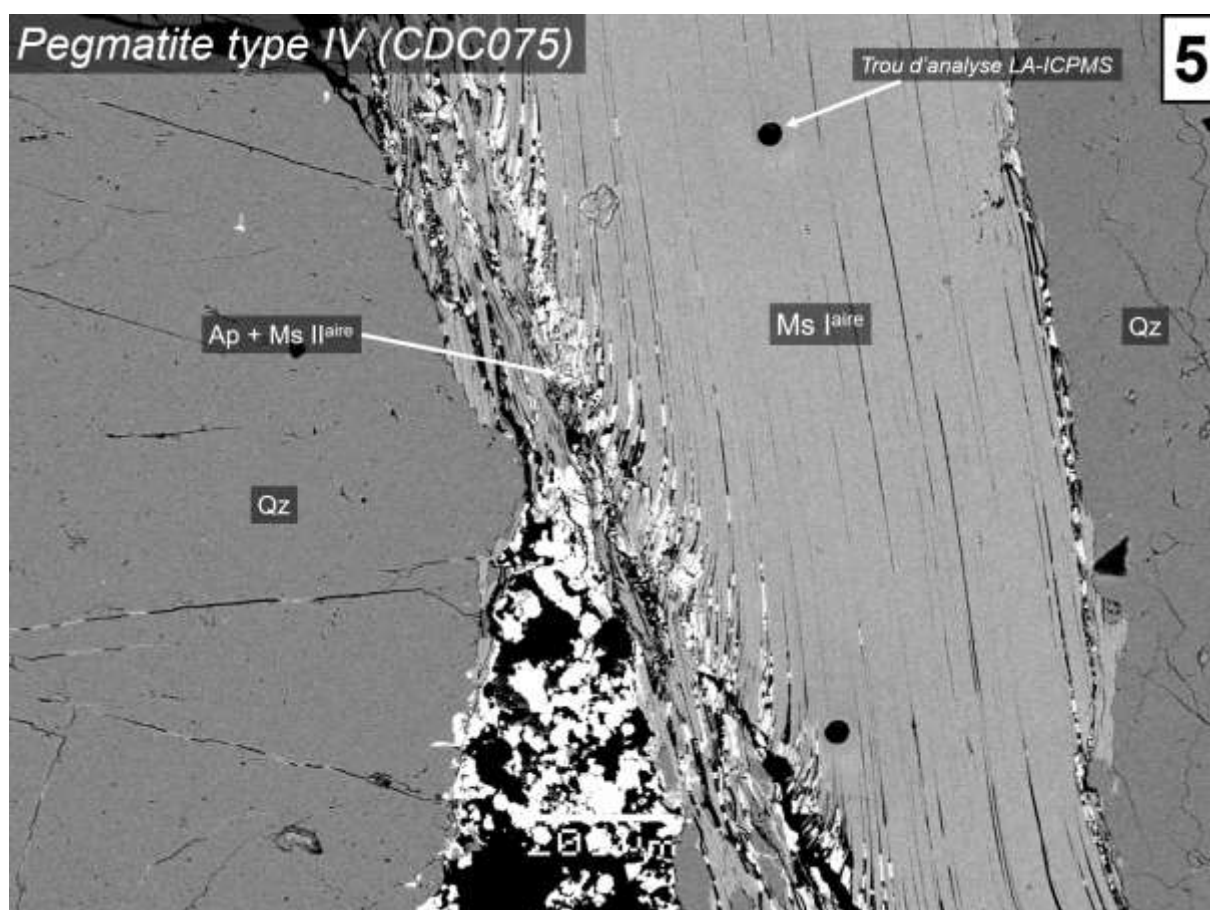
Planche A3

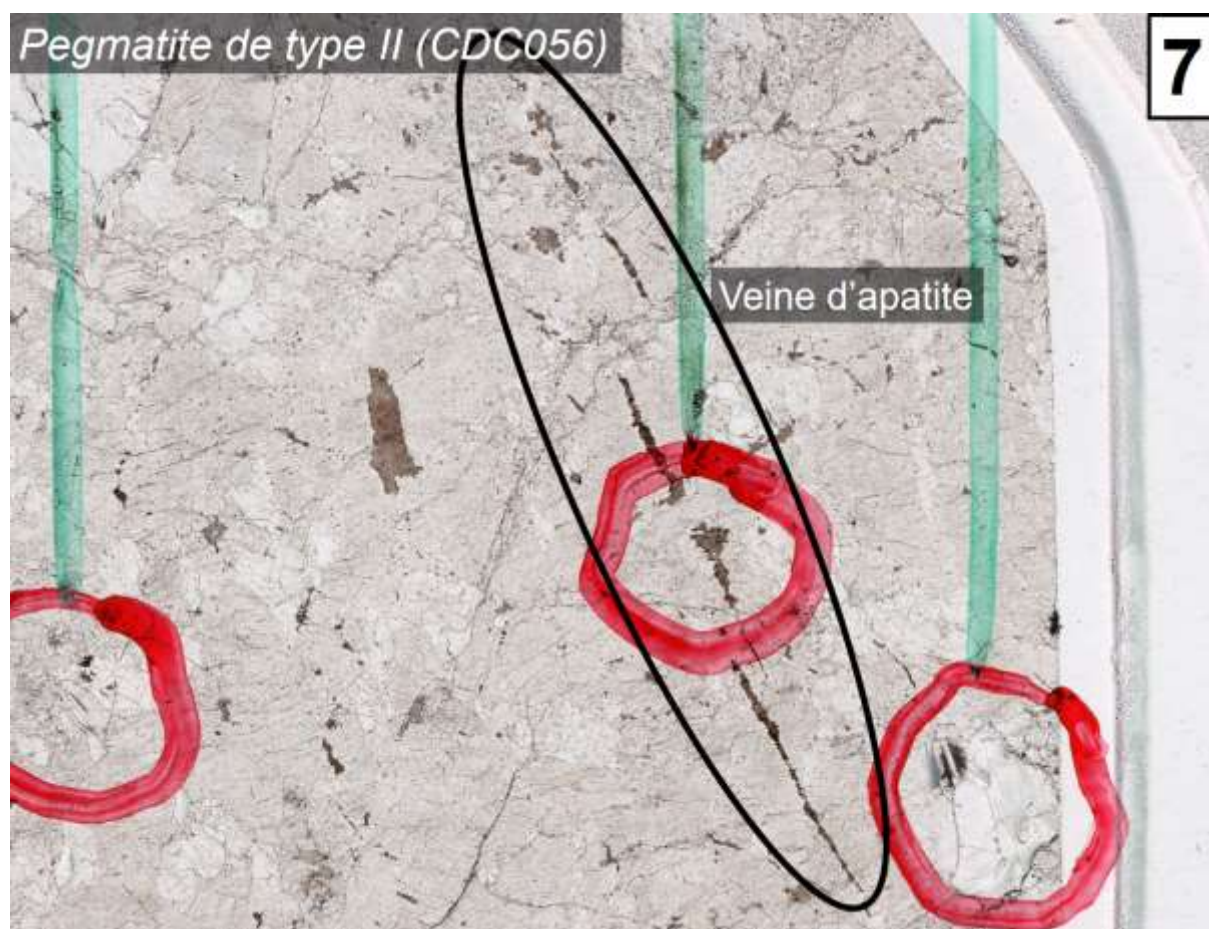
Carte géologique du Cap de Creus montrant les principaux domaines de déformation, la foliation principale, les limites entre les zones métamorphiques, et la distribution des différents type de pegmatites (modifié d'après Druguet, 2001). La lithologie est simplifiée et seuls les micaschistes et les pegmatites sont représentés. Les limites entre les différents types de pegmatites ont été modifiées à partir de Corbella et Melgarejo (1993) et de Van Lichtenvelde et al. (2017). Ces limites sont supprimées lorsque leur position initiale a été modifiée par les zones de cisaillement D3. Les pegmatites étudiées en détail sont en noir.

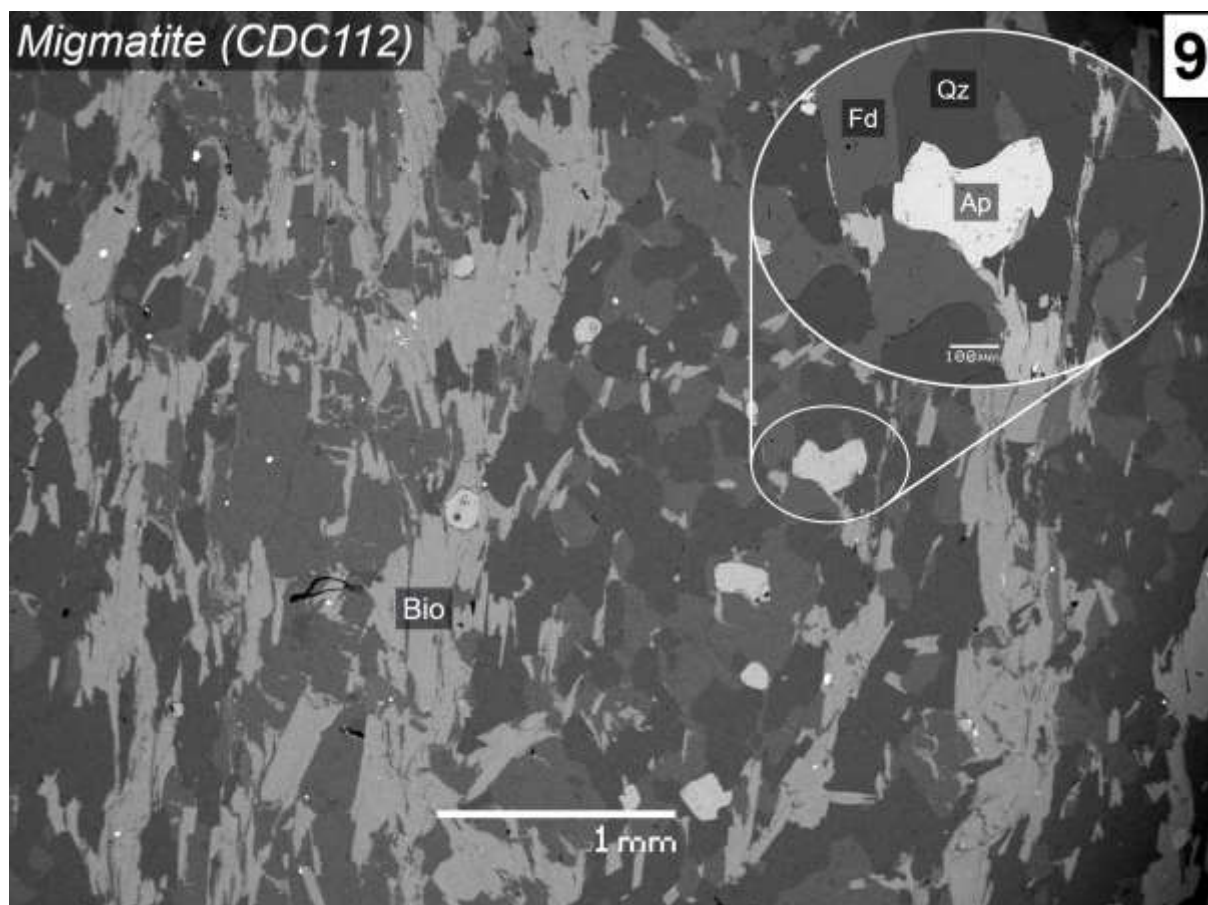
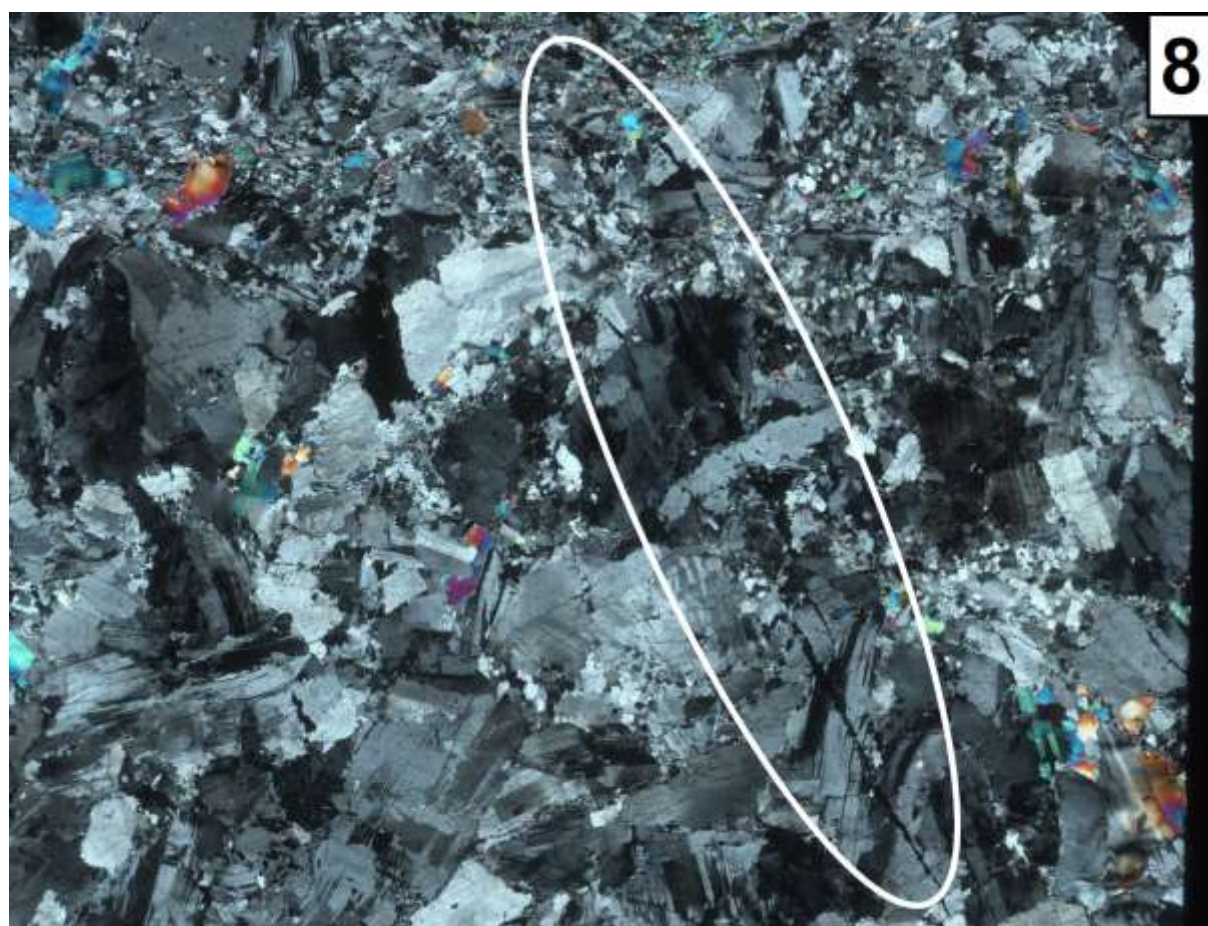


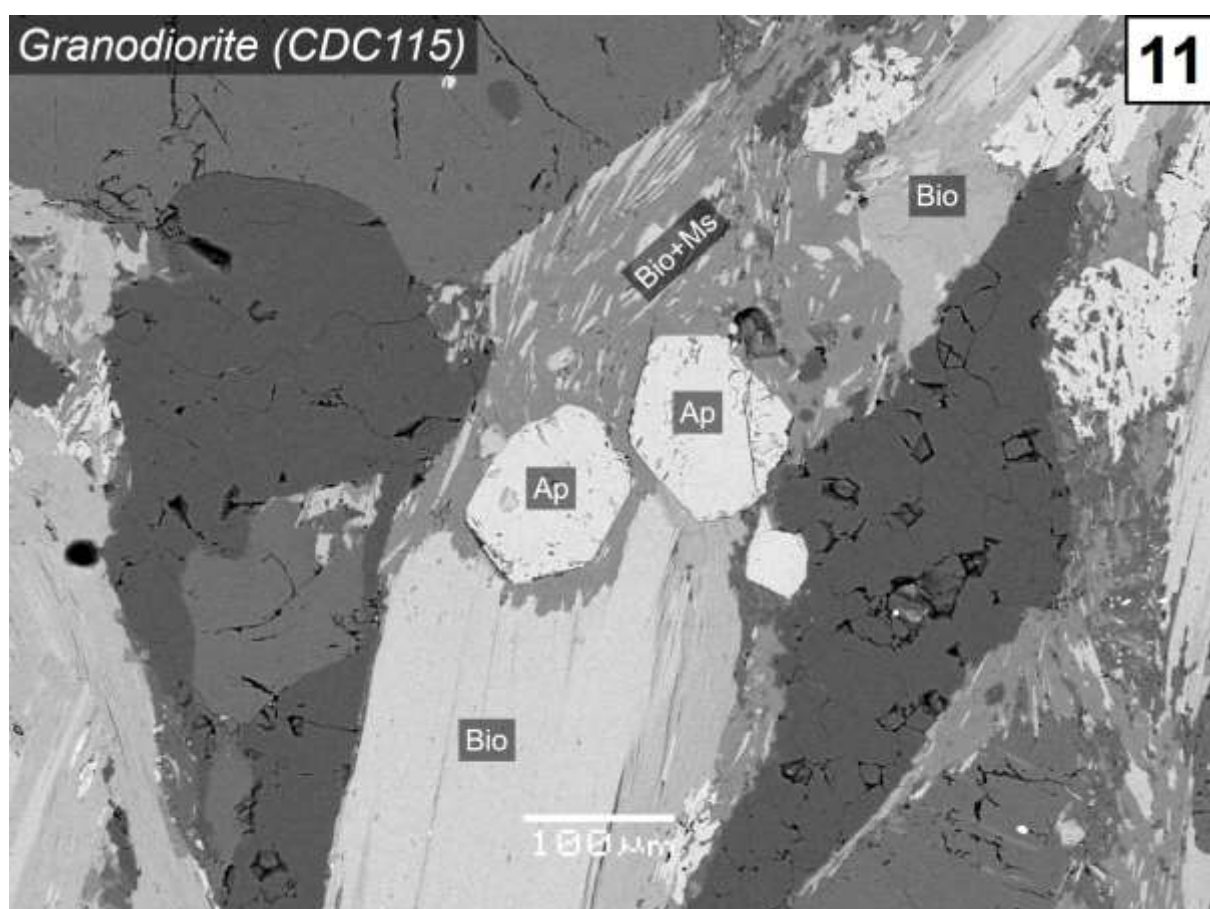
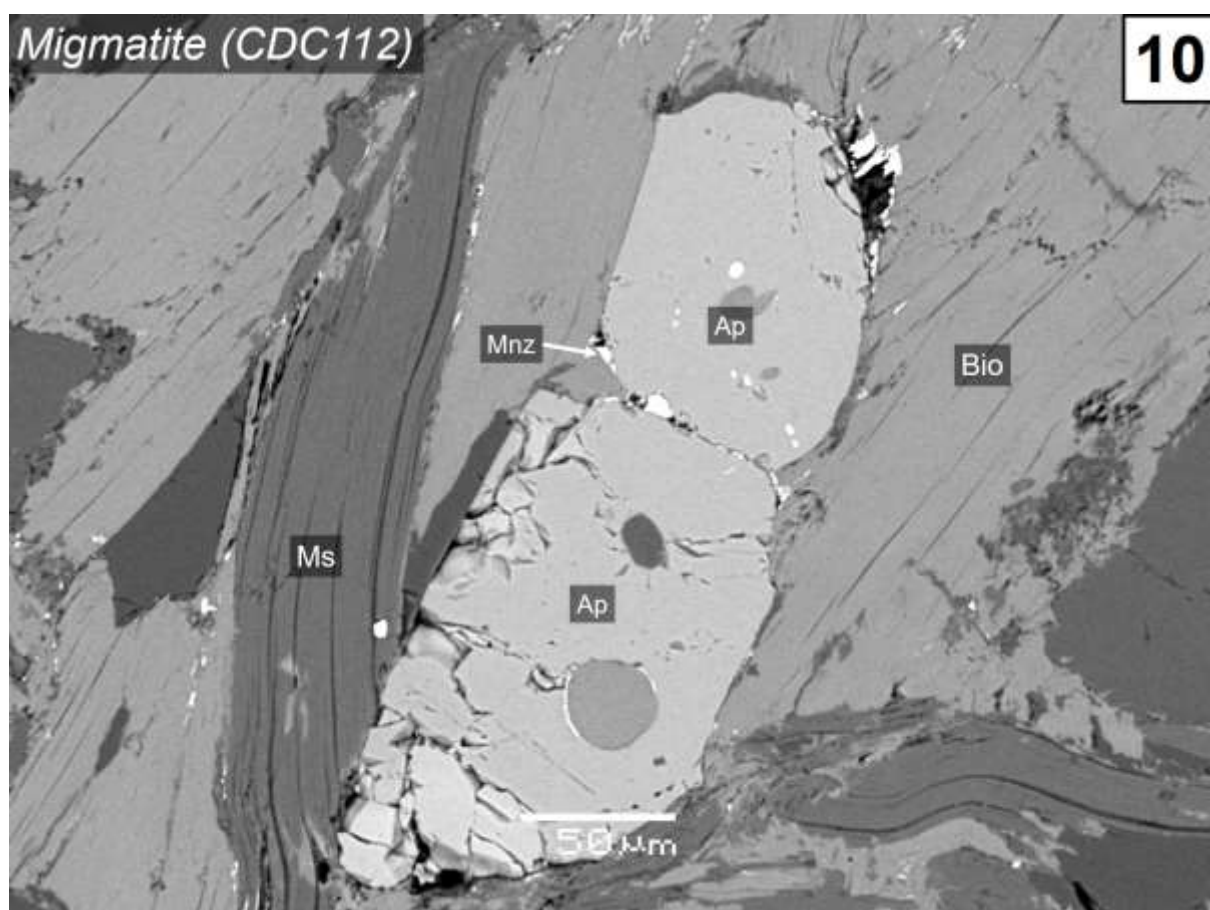


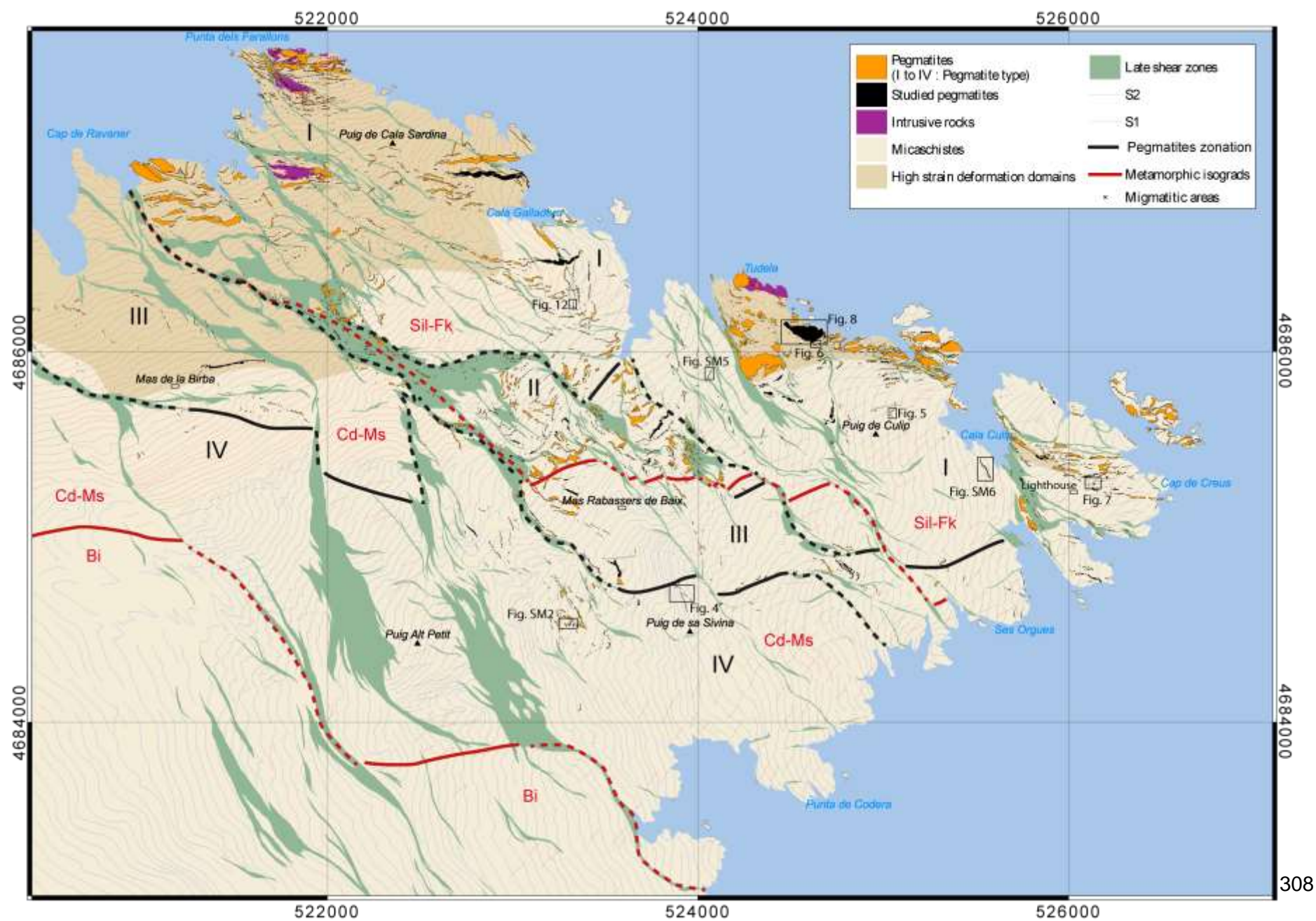












Serrano et al. figure 2